

Jenseits der Lichtgeschwindigkeit

Gedankenspiele und Experimente zur Relativitätstheorie

Inhaltsverzeichnis:	Seite
Einleitung	3
1 Michelson-Morley-Experiment	3
2 Fizeau-Experiment	4
3 Folgerungen aus dem Zweiten Einsteinschen Postulat	5
4 Untersuchung der Lorentztransformation	5
5 Alternative Streckentransformation	8
6 Ausführungen zum Dopplereffekt	9
6 A) Herleitung des relativistischen Dopplereffektes	9
6 B) Kritik am relativistischen Dopplereffekt	10
6 C) Transversaler Dopplereffekt kontra Zeitdilatation	11
6 D) Kleines Gedankenexperiment zur Zeitdilatation	14
7 Ursachen für die Messung einer konstanten Lichtgeschwindigkeit beim Dopplereffekt	14
7 a) Entstehung von Photonen	14
7 b) Hypothesen zur Aussage des Dopplereffekts	15
7 c) Lichtabsorption/Lichttransmission	16
7 d) Hypothetische Grenzen für die Wechselwirkung von Photonen mit Materie	17
7 e) Erzeugung und Empfang von Photonen mit Überlichtgeschwindigkeit	19
8 Anhänge	22
Anhang I Auszug aus der Facharbeit – Fizeau/Sagnac-Berechnung	22
Anhang II Bestätigt der Müonenzerfall die Zeitdilatation?	28
Anhang III Gedankenexperiment zum relativistischen Dopplereffekt	30
Anhang IV Das Drillingsparadoxon	31
Anhang V Lichtgeschwindigkeit im Raumschiff	32
Anhang VI Einsteins Eisenbahn-Experiment zur Relativität der Gleichzeitigkeit	33
Anhang VII Herleitung des klassischen Sagnac-Effektes	34

Einleitung:

Ganze 95 Jahre ist es schon her, daß eine Theorie das (physikalische) Weltbild revolutionär verändert hat. 1905 veröffentlichte Albert Einstein seine spezielle Relativitätstheorie (SRT), die seinerzeit allerdings nicht unumstritten war, mußten sich doch darin Zeit und Raum einer absolut konstanten Lichtgeschwindigkeit beugen.

Mittlerweile sind jedoch alle Zweifel beiseite geräumt und die moderne Physik und insbesondere die Astronomie baut auf ihren Erkenntnissen auf.

Die Intention dieses Artikels ist es, beim Leser die natürlichste Eigenschaft des Physikers zu wecken, zu hinterfragen warum etwas so ist, nachdem er festgestellt hat, daß es so ist.

So wird jedem Physikstudenten eingeschärft, die Lichtgeschwindigkeit sei konstant, unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle und des Empfängers.

Es muß ja so sein, denkt sich der brave Student, schließlich wird sie stets konstant gemessen. * Der unorthodoxe Student hingegen würde fragen, warum es zu diesem Messergebnis kommt. Entweder weil sie wirklich konstant und von der Lichtquellenbewegung unabhängig ist, oder vielleicht aus anderen Gründen, die den ersten nur vortäuschen. Da der erste Grund, mitsamt allen daraus abgeleiteten Folgerungen, bereits mehrheitlich akzeptiert wird und in den Physikbüchern bequem nachzulesen ist, wenden wir uns hier anderen Möglichkeiten zu.

Im Rahmen meiner Abitur-Facharbeit (vom 29.01.2000) über das „Additionstheorem der Geschwindigkeit (klassisch und relativistisch)“ habe ich einige Überlegungen angestellt, die in diesem Artikel aufgegriffen, ergänzt und zur Diskussion gestellt werden sollen.

1 Michelson-Morley-Experiment

Beginnen wir mit ein paar Gedanken zum Michelson-Morley-Experiment, das oft als Bestätigung der absoluten, bewegungsinvarianten Konstanz der Lichtgeschwindigkeit genannt wird (2. Einsteinpostulat). Bei diesem werden die Lichtgeschwindigkeiten auf zwei gleich langen, aber um 90° zueinander versetzt verlaufenden Strecken mittels Interferenz verglichen. Der Versuch dürfte hinreichend bekannt sein und soll an dieser Stelle nicht weiter erklärt werden. Vielmehr soll darauf hingewiesen werden, daß sich hier die Katze in den Schwanz beißt, sobald man aus dem Ergebnis eine von der Bewegung der Quelle unabhängige Lichtgeschwindigkeit ableiten will. Zum einen geht man davon aus, daß es keinen sog. Äther (als Ausbreitungsmedium für das Licht) gibt, dann ist es einleuchtend, daß sich die gemessene Lichtgeschwindigkeit zwischen Quelle = Strahlteiler und Empfänger = Okular (im MM-Interferometer relativ zueinander ruhend) nicht ändert. Postuliert man sie jedoch (im Äther) als bewegungsinvariant konstant, kann man mit diesem Experiment gar keinen

* 1972 wurde die Vakuumlichtgeschwindigkeit auf den konstanten Wert: 299792458 m/s festgesetzt. Alle abweichenden Messungen sind daher von vornherein als *Meßfehler* anzusehen.

Äther nachweisen, der jedoch notwendig wäre, um eine solche Aussage zu rechtfertigen. Würde ein Äther existieren, so wäre das Michelson-Morley-Experiment ein direkter Beweis für das Zweite Einsteinsche Postulat (und nur dann).

2 Fizeau-Experiment

Ein weiterer Versuch zur Geschwindigkeitsaddition, der als wichtige Bestätigung der SRT angesehen wird, ist der Versuch von Fizeau. Dessen experimenteller Befund schien erstmals durch die Einsteinsche Theorie erklärt, was bis dato mit klassischen Ansätzen nicht gelungen war. Das Ergebnis sagt aus, daß die Geschwindigkeitszunahme der Lichtgeschwindigkeit im bewegten Medium nicht additiv v_{Medium} ist, sondern daß die Mediumgeschwindigkeit v_M nur um den fresnelschen

Mitführungskoeffizienten $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ (2.1) vermindert eingeht. (n = Brechungsindex des Mediums)

Vergleicht man jedoch dieses Experiment mit dem Versuch von Sagnac, bei dem der Gangunterschied zwischen Lichtstrahlen, die mit und gegen die Drehrichtung der Versuchsanordnung verlaufen, gemessen wird, so fällt auf, daß beide Experimente einen nahezu identischen Aufbau der optischen Gerätschaften besitzen. Es ist daher zu vermuten, daß beim Fizeau-Versuch gleichzeitig ungewollt und unerkannt ein Sagnac-Effekt auftritt, welcher den Fizeau-Effekt teilweise kompensiert. Beim Fizeau-Versuch bewegt sich anstelle der Versuchsanordnung des Sagnac-Versuchs das lichtleitende Medium im Kreis, was einen dem Fizeau-Effekt gegenläufigen Sagnac-Effekt hervorrufen müßte.

Ziehen wir nun vom Gangunterschied des Fizeau-Versuchs den des Sagnac-Versuchs ab, lösen nach der Mediumgeschwindigkeit v_M auf, so erhalten wir eine Formel, deren Ergebnisse – ohne einen fragwürdigen Mitführungskoeffizienten – direkt mit den gemessenen Geschwindigkeiten übereinstimmen und damit **die klassische Addition der Lichtgeschwindigkeit mit der Mediumgeschwindigkeit bestätigt**. (Genaueres und Erläuterungen zu den Rechnungen siehe Anhang).

Ein Kritikpunkt, den man am relativistischen Ansatz machen könnte ist, daß auch im bewegten Medium sich stets die konstante Lichtgeschwindigkeit c ergeben müßte (Zweites Einsteinsches Postulat). Es wurde angenommen, die Lichtgeschwindigkeit in einem Medium sei geringer als die im Vakuum. Denkt man jedoch genauer darüber nach, so kommt man zu der Einsicht, daß diese Aussage lediglich auf den Mittelwert der Lichtlaufzeit zutrifft, wenn man die durchlaufene Strecke l pro Zeitintervall mißt und sich die Lichtgeschwindigkeit nicht tatsächlich verändern dürfte, sondern zwischen den Mediummolekülen – also im Vakuum – den Wert c_0 haben müßte. Die niedrigere Geschwindigkeit c_M resultiert nur aus der Summe der zusätzlichen Verzögerungszeiten t_0 , die durch die Absorption und Reemission der Photonen (bei der Transmission) durch die Mediummoleküle

entsteht. $c_M = \frac{l}{\frac{l}{c_0} + t_0} = \frac{c}{n}$ (2.2). Wenn c , wie in der SRT postuliert, konstant bleibt, dürfte sich

bei konsequenter Anwendung der relativistischen Geschwindigkeitsaddition eigentlich gar keine Veränderung messen lassen, die von der Mediumgeschwindigkeit v_M abhängig ist, denn nach der relativistischen Geschwindigkeitsaddition ist $c' = \frac{c_0 \pm v_M}{1 \pm \frac{c_0 v_M}{c_0^2}} = c_0 = \text{konst.}$ (2.3) und von v_M also

völlig unabhängig. (Genauerer im Anhang unter Anmerkung zum Fizeau-Versuch)

3 Folgerungen aus dem Zweiten Einsteinschen Postulat:

Das Zweite Einsteinsche Postulat behauptet, daß in allen Inertialsystemen, unabhängig von der Relativgeschwindigkeit zwischen Lichtquelle und -empfänger, die Vakuumlichtgeschwindigkeit immer als konstant c_0 gemessen wird. Das bedeutet, daß sich Lichtquanten (im Vakuum) relativ zu allem, also konsequenterweise auch relativ zu anderen Lichtquanten stets mit der konstanten Lichtgeschwindigkeit c_0 bewegen müssen. – Damit verbietet das Zweite Einsteinsche Postulat das Zustandekommen von Kohärenz und Interferenz bei Licht, bzw. elektromagnetischen Wellen! – Voraussetzung für Kohärenz (u.a. die Grundlage für die Erzeugung von LASER-Licht) ist die gleiche Geschwindigkeit und nahezu gleiche Richtung (Differenzgeschwindigkeit = 0 und nicht c_0) der interferierenden Photonen – LASER-Licht, Kohärenz und Interferenz (auch bei anderen elektromagnetischen Wellen) lassen sich aber im Widerspruch zum Zweiten Einsteinschen Postulat experimentell nachweisen.

Eigentlich widerspricht das Zweite Einsteinsche Postulat bereits dem ersten Einsteinschen Postulat, wonach die Naturgesetze in allen Inertialsystemen im gesamten Universum identisch sind. Als Voraussetzung dafür müssen aber Raum und Zeit – die Handlungsbühne aller Naturgesetze – ebenfalls in allen Inertialsystemen im gesamten Universum gleich beziehungsweise identisch sein. Diese Voraussetzung wird nur mit der Galileitransformation erfüllt, nicht aber mit der (aus dem 2.E.P. abgeleiteten) Lorentztransformation, bei der in allen Inertialsystemen andere Raum- und Zeitmaße gelten und damit folglich auch von der Relativgeschwindigkeit abhängig quantitativ unterschiedliche Naturgesetze.

4 Untersuchung der Lorentztransformation:

Bei der Herleitung der Lorentztransformation gehen die meisten mir bekannten Physikbücher von der Galileitransformation aus, führen einen Faktor γ ein und erweitern dann mit einer Bedingung für das Zweite Einsteinsche Postulat:

<u>Galileitransformation</u>	<u>Lorentztransformation</u>	<u>Einführung des Zweiten Einsteinschen Postulats</u>
$x' = x - v \cdot t$ (4.01)	$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t)$ (4.1)	für $x' = c \cdot t' \rightarrow c \cdot t' = \gamma(c \cdot t - v \cdot t)$ I (4.I)
$t = t'$		(Lichtstrahlen)
$x = x' + v \cdot t'$ (4.02)	$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t')$ (4.2)	für $x = c \cdot t \rightarrow c \cdot t = \gamma(c \cdot t' + v \cdot t')$ II (4.II)
$I \cdot II \rightarrow c^2 = \gamma^2 \cdot (c^2 - v^2) \rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ (4.III)		

Durch einfügen des so berechneten Faktors γ erhalten wir die Formeln der Lorentztransformation:

(4.1) $x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ und (4.2) $x = \frac{x' + v \cdot t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ Zur Berechnung von t' bildet man den Quotienten I/II

$$\frac{I}{II} = \frac{c \cdot t'}{c \cdot t} = \frac{\gamma \cdot t \cdot (c - v)}{\gamma \cdot t' \cdot (c + v)} \rightarrow \left(\frac{t'}{t}\right)^2 = \frac{c - v}{c + v} \left| \frac{c^{-1} - v \cdot c^{-2}}{c^{-1} - v \cdot c^{-2}} \right. \rightarrow \left(\frac{t'}{t}\right)^2 = \frac{\left(1 - \frac{v}{c}\right)^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow t' = \frac{t \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow$$

$$t' = \frac{t - \frac{v \cdot c \cdot t}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \text{ für } x = c \cdot t \text{ ist } t' = \frac{t - \frac{x \cdot v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \text{ (4.3) und äquivalent } \frac{II}{I} \rightarrow t = \frac{t' + \frac{x' \cdot v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \text{ (4.4)}$$

Gleichungssystem der Lorentztransformation:

Tab 4.1

1.) $x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow$	a) $\Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	3.) $t' = \frac{t - \frac{x \cdot v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow$	c) $\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$
2.) $x = \frac{x' + v \cdot t'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow$	b) $\Delta x = \frac{\Delta x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	4.) $t = \frac{t' + \frac{x' \cdot v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow$	d) $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

Bei den Gleichungen a) und b) wurde vorausgesetzt, daß die Messungen von x_2 und x_1 für $\Delta x = x_2 - x_1$ gleichzeitig zum Zeitpunkt t beziehungsweise von x_2' und x_1' für $\Delta x' = x_2' - x_1'$ gleichzeitig zum Zeitpunkt t' durchgeführt werden sollen.

Bei den Gleichungen c) und d) wurde vorausgesetzt, daß die Zeitsignale für t_1 und t_2 jeweils vom gleichen Ort x beziehungsweise für t_1' und t_2' vom gleichen Ort x' ausgehen.

Für allgemeine Fälle entstehen aus den Gleichungen 1.), 2.), 3.) und 4.) folgende Deltagleichungen:

(4.A) $\Delta x' = x_2' - x_1' = \gamma \cdot [x_2 - x_1 - v \cdot (t_2 - t_1)]$ (4.C) $\Delta t' = t_2' - t_1' = \gamma \cdot [t_2 - t_1 - \frac{v}{c^2} \cdot (x_2 - x_1)]$

(4.B) $\Delta x = x_2 - x_1 = \gamma \cdot [x_2' - x_1' + v \cdot (t_2' - t_1')]$ (4.D) $\Delta t = t_2 - t_1 = \gamma \cdot [t_2' - t_1' + \frac{v}{c^2} \cdot (x_2' - x_1')]$

Relativistische Geschwindigkeitsaddition:

Definitionen: Die Relativgeschwindigkeit der Systeme S zu S' ist $\frac{dx_0'}{dt} = v = \frac{dx_0}{dt'}$

Im System S gilt $u = \frac{x}{t}$ und im System S' ist $u' = \frac{x'}{t'}$

Vom bewegten System S' aus betrachtet wird die im System S gemessene Geschwindigkeit u zu

$$u' = \frac{x'}{t'} = \frac{\gamma(x - v \cdot t)}{\gamma\left(t - \frac{x \cdot v}{c^2}\right)} = \frac{u \cdot t - v \cdot t}{t - \frac{u \cdot t \cdot v}{c^2}} = \frac{u - v}{1 - \frac{u \cdot v}{c^2}} \rightarrow u' = \frac{u - v}{1 - \frac{u \cdot v}{c^2}} \quad (4.E)$$

Vom ruhenden System S aus betrachtet wird eine im bewegten System S' gemessene Geschwindigkeit

$$u' \text{ bei Anwendung der Lorentzgleichungen zu } u = \frac{x}{t} = \frac{\gamma(x' + v \cdot t')}{\gamma\left(t' + \frac{x' \cdot v}{c^2}\right)} \rightarrow u = \frac{u' \pm v}{1 \pm \frac{u' \cdot v}{c^2}} \quad (4.F)$$

Versuchen wir nun aus Neugierde die gleiche Operation wie mit den Gleichungen **I** und **II** (zur Berechnung des Faktors γ) nun mit den Gleichungen a) und b) bzw. c) und d), so erhalten wir für a) · b) bzw. c) · d) :

$$\Delta x' \cdot \Delta x = \frac{\Delta x \cdot \Delta x'}{1 - \beta^2} \rightarrow 1 - \beta^2 = 1 \quad (4.5)$$

$$\text{bzw. } \Delta t' \cdot \Delta t = \frac{\Delta t \cdot \Delta t'}{1 - \beta^2} \rightarrow 1 - \beta^2 = 1 \quad (4.6)$$

Wenn die Multiplikation der Gleichungen erlaubt ist, dann ist es auch die Division:

$$\frac{a)}{b)} \rightarrow \frac{\Delta x'}{\Delta x} = \frac{\Delta x}{\Delta x'} \rightarrow \Delta x = \Delta x' \quad (4.7)$$

$$\text{bzw. } \frac{c)}{d)} \rightarrow \frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{\Delta t}{\Delta t'} \rightarrow \Delta t = \Delta t' \quad (4.8)$$

Diese Resultate aber entsprechen genau der Galileitransformation. Die Ergebnisse beider Operationen (identisch mit den Rechenoperationen zur Gewinnung der Lorentztransformation) zeigen, daß die Lorentztransformation eigentlich nur unter der Bedingung richtig ist, daß $\gamma = 1$ bzw. $\beta = \frac{v}{c} = 0$ ist,

also nur für $v = 0$ und/oder $c \rightarrow \infty$ stimmt.

Auch beim relativistischen Geschwindigkeitsadditionstheorem erhält man folgendes Ergebnis für eine Addition der Lichtgeschwindigkeit mit einer Bezugssystemgeschwindigkeit:

$$u \text{ oder } u' = \frac{c \pm v}{1 \pm \frac{c \cdot v}{c^2}} = c \quad \text{also gleichbedeutend mit } c \pm v = c \text{ oder entsprechend } 1 \pm \beta = 1$$

Daraus folgt wieder, daß die relativistische Geschwindigkeitsaddition nur für $\beta = 0$ bzw. für $v = 0$ und/oder $c \rightarrow \infty$ richtig sein kann.

Mit anderen Worten: Die Ergebnisse der Lorentztransformation widerlegen den Sinn einer Anwendung derselben.

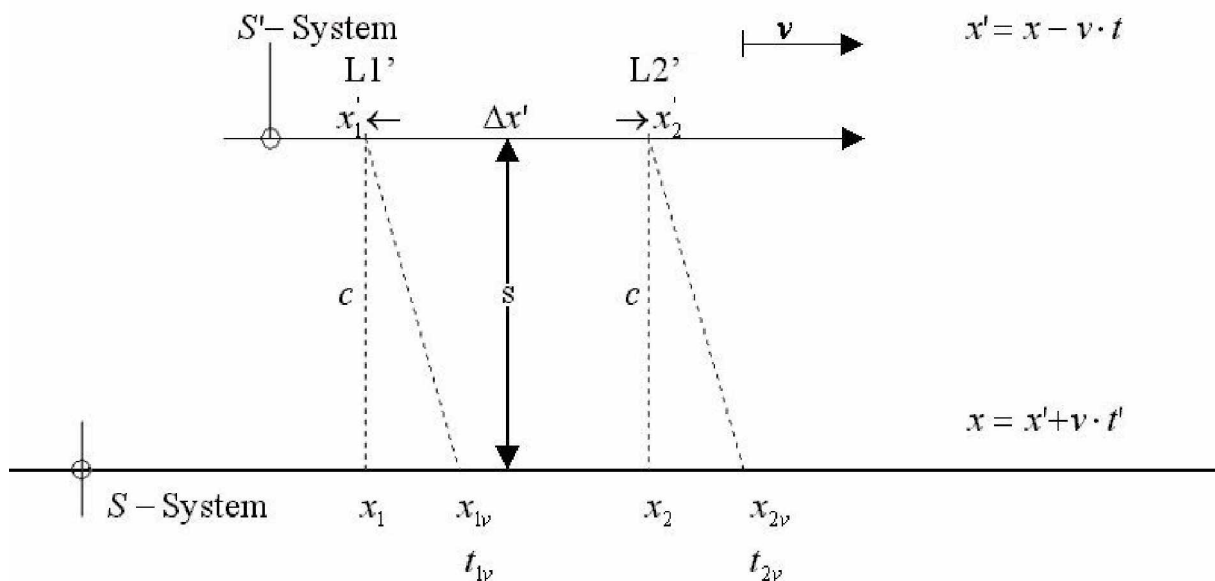
Die Lorentztransformation ist also nur dann richtig, wenn ihre Ergebnisse mit denen der Galileitransformation übereinstimmen. Damit wird die Lorentztransformation überflüssig, genauso wie deren Anwendungen, die überwiegend (für $v \rightarrow c$) zu falschen Schlußfolgerungen führen.

(Vgl. Anhang V)

5 Alternative Streckentransformation (Invariant zum Zweiten Einsteinschen Postulat):

Mit Hilfe einer Skizze läßt sich der Meßvorgang von Strecken in (relativ zueinander) ruhenden und bewegten Systemen übersichtlich darstellen:

Skizze 5.1



Im System S' befinden sich zwei Laser L1' am Ort x_1' und L2' bei x_2' . Beide Impulslaser strahlen senkrecht auf die im System S befindliche x -Skala. Bei der Geschwindigkeit des S' Systems von $v = 0$ treffen die Laserimpulse im System S auf die Punkte x_1 und x_2 , direkt gegenüber von x_1' und x_2' , so daß die Strecken $\Delta x'$ und Δx gleich lang sind. Solange $v = 0$ ist spielt es für das Ergebnis $\Delta x = \Delta x'$ keine Rolle, ob die Laserimpulse synchron sind, oder nicht.

Bewegt sich nun das System S' mit der konstanten Geschwindigkeit v relativ zum System S , so gilt die Gleichung für $\Delta x = x_{2v} - x_{1v} = x_2' - x_1' + v \cdot (t_2' - t_1')$ (5.1). Nur wenn beide Laser synchron blitzen (also $t_1' = t_2'$ ist) wird wieder $\Delta x = x_{2v} - x_{1v} = \Delta x' + v \cdot 0$ sein und dies prinzipiell unabhängig

von v . Da die Lichtwege von x'_1 zu x_{1v} und x'_2 zu x_{2v} stets gleich lang sind, sind auch die Lichtlaufzeiten für beide Laserimpulse gleich, so daß auch $t_{2v} = t_{1v}$ und damit gleichfalls $\Delta t_v = 0$, unabhängig von v bleibt.

Resultat: Eine Strecke im System S' wird stets exakt in gleicher Größe im System S , unabhängig von der Relativgeschwindigkeit v der Systeme, gemessen. $\underline{\Delta x = \Delta x'}$! Gleichzeitigkeit einer Messung im bewegten System S' hat auch Gleichzeitigkeit bei der Messung im System S zur Folge, allerdings um den Betrag der Lichtlaufzeit von S' zu S verzögert.

Bei Anwendung dieser Meßmethode besteht also kein vernünftiger Grund, eine Längenkontraktion wie $\Delta x = \gamma \cdot \Delta x'$ anzunehmen.

6 Ausführungen zum Dopplereffekt

6 A) Herleitung des relativistischen Dopplereffektes

Bei der Herleitung der relativistischen Dopplerformel gehen die meisten mir bekannten Physikbücher von der klassischen Dopplerformel aus und „korrigieren“ diese nur mit der Zeitdilatation für die

Schwingungsperiodendauer $\tau = \frac{1}{f}$; also $\tau' = \tau \cdot \gamma = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ bzw. die Frequenz relativistisch:

$$f_{rel} = \frac{1}{\tau'} = \frac{1}{\tau} \cdot \sqrt{1 - \beta^2} = f \cdot \sqrt{1 - \beta^2} \quad (6.1)$$

Für die bewegte Lichtquelle gilt klassisch $f = f_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$ (6.2). Da es aufgrund der bewegten

Lichtquelle zu einer Zeitdilatation im System derselben kommt, korrigiert man mit dem Term

$\frac{1}{\gamma} = \sqrt{1 - \beta^2}$ und erhält die relativistische Dopplerformel:

$$f_{rel} = f_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{v}{c}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow f_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} \Rightarrow f_{rel} = f_0 \cdot \sqrt{\frac{c + v}{c - v}} \text{ und für beide Bewegungsrichtungen}$$

$$v \text{ und } -v \text{ also } f_{rel} = f_0 \cdot \sqrt{\frac{c \pm v}{c \mp v}} \quad (6.3).$$

Für den bewegten Empfänger gilt klassisch $f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$ (6.4). Da diesmal für den Empfänger

weniger Zeit vergeht, korrigiert man mit γ um die relativistische Dopplerformel zu erhalten:

$$f_{rel} = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow f_0 \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad \text{und wieder für beide Bewegungsrichtungen } v \text{ und } -v$$

$$\text{also: } f_{rel} = f_0 \cdot \sqrt{\frac{c \pm v}{c \mp v}} \quad (6.3).$$

Das Ergebnis für bewegte Quelle und bewegten Empfänger ist gleich, da das Licht kein Ausbreitungsmedium benötigt und deshalb nur die Relativgeschwindigkeit v von Bedeutung ist.

6 B) Kritik am relativistischen Dopplereffekt:

Für die Doppler-Frequenzänderung ist nur die Relativgeschwindigkeit v der Inertialsysteme verantwortlich. Da diese Relativgeschwindigkeit nach Einstein in beiden Systemen die gleiche Größe

hat, also systeminvariant ist, gilt $\frac{\Delta x_v}{\Delta t_v} = v = \frac{\Delta x'_v}{\Delta t'_v}$ (6.5). Da sich die Geschwindigkeit v als Quotient

aus Weg und Zeit ergibt und beide Größen von der Lorentztransformation betroffen sind, genügt es also nicht, nur die Zeit zu transformieren und die Längenkontraktion zu unterschlagen oder umgekehrt!

Beim relativistischen Additionstheorem, das direkt aus der Lorentztransformation abgeleitet wird, sind Zeitdilatation und Längenkontraktion bereits berücksichtigt, wie z.B. bei der Transformation ins bewegte System:

$$u' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx'}{dt} \cdot \frac{dt}{dt'} \rightarrow \frac{u \pm v}{1 \pm \frac{u \cdot v}{c^2}} \quad (6.6)$$

Da Licht kein Medium benötigt, gibt es für Licht praktisch nur den klassischen Dopplereffekt mit dem

relativ zur Quelle bewegten Empfänger: $f = f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right) = f_0 \cdot \frac{c \pm v}{c}$ (6.4.1); Um also den echten

und unverfälschten, bzw. vollständigen relativistischen Dopplereffekt zu erhalten, wenden wir auf die klassische Dopplerformel das relativistische Geschwindigkeitsadditionstheorem an:

$$f_{rel} = \frac{f_0}{c} \cdot \frac{c \pm v}{1 \pm \frac{v \cdot c}{c^2}} = f_0 \cdot \frac{c \pm v}{c \pm v} = f_0 \quad (6.7). \text{ Dieses Ergebnis zeigt, daß es für Licht (bei exakter}$$

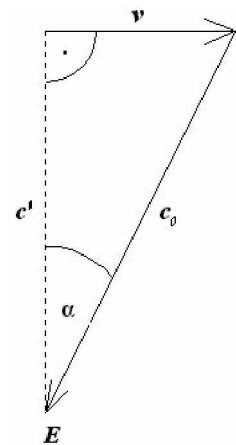
relativistischer Rechnung) gar keinen Dopplereffekt geben dürfte, wenn die Natur die SRT bestätigen würde. Dieses Ergebnis entspricht aber genau der Forderung des Zweiten Einsteinschen Postulats: Eine Relativgeschwindigkeit von Lichtquelle zu Lichtempfänger hat keinen Einfluß auf die gemessene Lichtgeschwindigkeit $c_0 = \text{konst.}$!

Das Auftreten des Dopplereffektes bei Licht widerlegt allein schon das Zweite Einsteinsche Postulat!

6 C) Transversaler Dopplereffekt kontra Zeitdilatation:

Klassisch gesehen entspricht der transversale Dopplereffekt bei Licht eigentlich der Aberration von Sternenlicht in der Astronomie. Das scheinbar senkrecht aus Richtung der Lichtquelle empfangene Licht wurde in Wirklichkeit unter dem Winkel $\sin^{-1} \frac{v}{c_0}$ abgestrahlt, damit es bei der Quellengeschwindigkeit v (senkrecht zur Flugrichtung der Quelle) beim Empfänger eintreffen kann – (vgl. Skizze 6.1). Die vektorielle Geschwindigkeitssubtraktion ergibt, daß die Photonen mit einer geringeren Geschwindigkeit als c_0 beim Empfänger eintreffen. $c' = \sqrt{c_0^2 - v^2}$ (6.8).

Skizze 6.1



Deshalb wird auch eine entsprechend niedrigere Frequenz f' gemessen. Empfänger beim Experiment ist das Glasfenster der Vakuumkammer (bzw. die zuerst mit dem Licht wechselwirkende Materie). In den vom Licht zuerst getroffenen Atomen des Glasfensters wird die Frequenz f' erzeugt und dann mit $\frac{c_0}{n}$ im Glas und über eine Luftstrecke mit nahezu c_0 zum Spektrometer weitergeleitet.

Die Empfangsfrequenz beim transversalen Dopplereffekt ist also

$$f' = f_0 \cdot \frac{c'}{c_0} = f_0 \cdot \frac{\sqrt{c_0^2 - v^2}}{c_0} = f_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2} \quad (6.9) \quad \text{und die Wellenlänge } \lambda = \lambda_0 / \sqrt{1 - \beta^2} \quad (6.10).$$

Mit der Messung des transversalen Dopplereffekts läßt sich leicht überprüfen, ob eine Zeitdilatation, wie sie in der SRT angenommen wird, in der Natur auch wirklich in Erscheinung tritt.

Nach der SRT verlangsamt sich die Zeit in einem schnell bewegtem Inertialsystem, so daß eine aus diesem System stammende Lichtstrahlung mit niedrigerer Frequenz (bezogen auf den ruhenden Beobachter) emittiert wird. $f_{rel} = f \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$ (6.1). (siehe relativistischer Dopplereffekt)

Es ist also zum transversalen Dopplereffekt noch zusätzlich die Zeitdilatation zu berücksichtigen. Die empfangene Frequenz müßte also

$$f_{rel} = f' \cdot \sqrt{1 - \beta^2} \quad (6.11) \quad \text{bzw.}$$

$$f_{rel} = f_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2} \cdot \sqrt{1 - \beta^2} = f_0 \cdot (1 - \beta^2) \quad (6.12) \quad \text{sein, bzw. } \lambda_{rel} = \lambda_0 / (1 - \beta^2) \quad (6.13).$$

Im Lehrbuch Vogel H., Gerthsen Physik / Springer Verlag Berlin-Heidelberg/ 18. Auflage 1995 ist auf der Seite 879 die Aufgabe 15.2.5. zu finden. Hier sind die transversal gemessenen Wellenlängen des Spektrums schnell bewegter (mit Spannungen von 0 bis 30 MV beschleunigter) Heliumionen aufgelistet.

In folgender Tabelle (Tab 6.1) sind die Beschleunigungsspannungen, die zugehörigen He^+ -Geschwindigkeiten in $\beta = v/c_0$ (klassisch berechnet), die nach klassischem transversalen Dopplereffekt sich ergebenden theoretischen Verhältnisse λ/λ_0 , die gemessenen Wellenlängen mit den daraus

errechneten λ/λ_0 Werte verschiedener Spektrallinien und zum Vergleich die theoretischen Verhältnisse λ/λ_0 mit Berücksichtigung der Zeitdilatation angegeben.

Des Weiteren sind die relativistischen $v/c = \beta$ -Werte (mit relativistischer Massenzunahme berechnet) und die daraus resultierenden theoretischen λ/λ_0 -Verhältnisse (rote Zahlenreihe) angegeben. Außerdem sind in der Spalte (grüne Zahlen) die Mittelwerte der λ/λ_0 -Messungen der verschiedenen Spektrallinien zum besseren Vergleich enthalten. Der offensichtlich falsche Meßwert in *Klammern* blieb unberücksichtigt.

Aus dieser Tabelle ist zu erkennen, daß im Rahmen der Meßgenauigkeiten des Experimentes nur der klassische transversale Dopplereffekt bestätigt wird, aber keine zusätzliche Zeitdilatation. Somit widerspricht dieses Experiment den Vorhersagen der SRT. Die mit relativistischer Massenzunahme berechneten λ/λ_0 -Werte (rote Zahlenreihe) stimmen zudem weniger mit den gemessenen überein, als die klassisch berechneten λ/λ_0 -Werte, was auch einer relativistischen Massenzunahme widerspricht.

Um noch eindeutigere Ergebnisse zu erhalten, wäre eine um mindestens den Faktor **10** bessere Meßgenauigkeit für die Wellenlänge der gemessenen Spektrallinien wünschenswert.

Messung des transversalen Dopplereffekts an schnellen Heliumionen He⁺:

Klassisch berechnet:

$$e \cdot U = \frac{m}{2} \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_{He^+}}} = 6943,91 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{U/[V]} ; \beta = \frac{v}{c} = 2,31624 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{U/[V]} \quad f' = f_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2} \rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$m_{He^+} = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 4,002055 = 6,645572 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

relativistisch
mit
Zeitdilatation

α	Beschleunigungsspannung U	klassische Theorie:		Messungen:									$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1}{1 - \beta^2}$
		$\frac{v}{c_0} = \beta$	$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	Mittelwert $\frac{\lambda}{\lambda_0}$	λ [nm]	$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	λ [nm]	$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	λ [nm]	$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	λ [nm]	$\frac{\lambda}{\lambda_0}$	
0°	0	0,00000	1,0000000	1,000000	656,0	1,000000	541,2	1,000000	485,9	1,000000	433,9	1,000000	1,000000
1,33°	1 MV	0,023160	1,0002683	1,000283	656,2	1,000305	541,3	1,000185	486,1	1,000412	434,0	1,000230	1,0005367
		0,023162	1,0002683										1,0005368
2,30°	3 MV	0,040099	1,0008049	1,000792	656,6	1,000915	541,6	1,000739	486,3	1,000823	434,2	1,000691	1,0016105
		0,040118	1,0008057										1,0016120
4,20°	10 MV	0,073108	1,0026832	1,002728	657,8	1,002744	(543,7)	(1,004619)	487,2	1,002675	435,1	1,002766	1,0053735
		0,073246	1,0026933										1,0053939
7,28°	30 MV	0,126121	1,0080494	1,008171	661,4	1,008232	545,6	1,008130	489,8	1,008026	437,5	1,008297	1,0161636
		0,126866	1,0081460										1,0163583

Relativistisch berechnet: Bei zusätzlicher Zeitdilatation ist λ / λ₀ noch mit 1 / √(1 - β²) zu erweitern → λ / λ₀ = 1 / (1 - β²). He⁺ → E₀ = 3727,61 MeV

Mit Berücksichtigung der relativistischen Massenzunahme wird

$$\frac{v}{c} = \beta = \frac{\sqrt{\left(\frac{e \cdot U}{E_0}\right)^2 + 2 \cdot \frac{e \cdot U}{E_0}}}{1 + \frac{e \cdot U}{E_0}} \rightarrow \frac{\sqrt{\left(\frac{e \cdot U}{3727,61 \text{ MeV}}\right)^2 + 2 \cdot \frac{e \cdot U}{3727,61 \text{ MeV}}}}{1 + \frac{e \cdot U}{3727,61 \text{ MeV}}}$$

Bei dieser Gelegenheit läßt sich, passend zum Thema, auch gleich ein Gedankenexperiment anfügen.

6 D) Kleines Gedankenexperiment zur Zeitdilatation:

Die Systeme S' und S (im Weltraum) seien durch ein sehr langes Glasfaserkabel miteinander verbunden, welches die Bewegung von S' relativ zu S mit $v = konst.$ (während der Messung) nicht behindert. Wird nun in S ein Laserimpuls in das GFK eingespeist, so kommt er in S' mit der GFK-spezifischen konstanten Verzögerungszeit T_0 an (unabhängig von den Koordinaten der GFK-Enden in S bzw. S' und dem Geschwindigkeitsvektor \vec{v}). Das Gleiche gilt natürlich für einen zweiten Impuls beziehungsweise auch für eine konstante Pulsfrequenz.

$$t'_1 = t_1 + T_0 \quad (6.14) \text{ und } t'_2 = t_2 + T_0 \quad (6.15), \quad \underline{\underline{\Delta t'}} = t'_2 - t'_1 = t_2 + T_0 - t_1 - T_0 = t_2 - t_1 = \underline{\underline{\Delta t}} \quad (6.16)$$

$$\text{und } \underline{\underline{f}} = \frac{1}{\underline{\underline{\Delta t}}} = \frac{1}{\underline{\underline{\Delta t'}}} = \underline{\underline{f'}} \quad (6.17).$$

Damit wird nicht nur eine Zeitdilatation widerlegt. Dieses Experiment demonstriert auch die absolute Unabhängigkeit der Zeiteinheiten von den Raumkoordinaten sowie von allen Relativgeschwindigkeitsvektoren und macht damit die Absurdität des relativistischen Begriffes der „Raumzeit“ (nach Minkowski) deutlich. (Zeit ist keine Raumdimension, aber ebenso wie diese von jeder Geschwindigkeit – auch der Lichtgeschwindigkeit – völlig unabhängig. Die Verrechnung von Zeit mit Weg nach Minkowski ist physikalischer Unfug.)

Eine universell überall gleich verlaufende Zeit nach dem Verständnis Newtons wird durch dieses Experiment bestätigt.

7 Ursachen und Erklärung für die Messung einer konstanten Lichtgeschwindigkeit beim Doppler-Effekt

(Aus meiner Facharbeit vom 29.01.2000 übernommen)

7 a) Entstehung von Photonen:

Photonen und Neutrinos sind die einzigen Teilchen, die nach Einstein, Lichtgeschwindigkeit erreichen können. Photonen haben zwei charakteristische Merkmale: Ihre Wellenlänge und ihre Frequenz, wobei diese über die Beziehung $c = f \cdot \lambda$ miteinander in Verbindung stehen. Photonen entstehen in Atomen, wenn angeregte Elektronen von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau zurückfallen. Die Art der Anregung ist hierbei nicht entscheidend und kann z.B. durch Erwärmung, durch chemische Reaktionen, elektromagnetische Anregung oder auf mechanischem Wege, sowie auch durch andere Lichtquanten erfolgen. Die Energie des abgestrahlten Photons entspricht jedenfalls der Differenzenergie, die beim Übergang der Energieniveaus frei wird und ist gleich dem Produkt aus planckschem Wirkungsquantum h und seiner Frequenz f . $E_{ph} = \Delta E = h \cdot f$

Die Geschwindigkeit eines gerade emittierten Photons relativ zur Quelle ist stets die

Vakuumlichtgeschwindigkeit c_0 . Beim Doppler-Effekt kann man bei einer sich nähernden Quelle erhöhte Frequenzen und kleinere Wellenlängen feststellen. Gemessen werden diese allerdings erst nach der Wechselwirkung mit den Atomen bzw. Molekülen der Meßanordnung. Um einen klassischen Doppler-Effekt zu registrieren, müßten die Photonen sich mit der Geschwindigkeit $c + v$ bewegen. Die relative Frequenz würde größer und die Wellenlänge bliebe dieselbe. In diesem Fall kommt es jedoch zu einer Blauverschiebung der Spektrallinien, was bedeutet, die Wellenlänge wurde geringer. Sie wird geringer gemessen, das heißt aber nicht zwangsläufig, daß sie vor der Wechselwirkung mit Materie nicht größer war. Es gilt also $c_0 = f_0 \cdot \lambda_0$ (7.1) als Geschwindigkeit gegenüber der Quelle. Gegenüber

dem Empfänger müßte, bei der sich nähernden Quelle, gelten $c' = c + v = f' \cdot \lambda = f_0 \cdot \frac{(c + v)}{c} \cdot \lambda_0$

(7.2). Diese Geschwindigkeit würde solange beibehalten, bis das Licht auf seinem Weg erstmals mit Materie wechselwirkt, denn dann verändert sich die Wellenlänge und das Photon wird mit $c_0 = f' \cdot \lambda'$

(7.3) wieder abgestrahlt. Für die neue Wellenlänge muß folglich gelten: $\lambda' = \lambda_0 \cdot \frac{c}{c + v}$ (7.4)

7 b) Hypothesen zur Aussage des Dopplereffekts:

Die Annahme, daß Photonen, solange sie sich mit $c_0 + v$ auf ein Objekt zu bewegen, die Frequenz f' und ihre ursprüngliche Wellenlänge λ_0 besitzen und sich nach der Wechselwirkung mit Materie mit $c_0 = f' \cdot \lambda'$ (7.3) fortbewegen, harmoniert auch mit dem Huygenschen Prinzip, das ja schon 1678 entwickelt wurde. Dieses sagt aus, daß jedes Hindernis Ausgangsort einer neuen Elementarwelle ist. Es scheint eine Eigenart des Lichts zu sein, von Atomen immer mit der ihm eigenen Geschwindigkeit c_0 emittiert zu werden. Dies läßt sich unmittelbar aus dem Doppler-Effekt folgern, allerdings auch, daß das Licht eine von c_0 verschiedene Relativgeschwindigkeit haben kann. Durch diese obengenannte Eigenschaft des Lichts wird deshalb bei herkömmlichen Lichtgeschwindigkeitsmessungen immer die konstante Lichtgeschwindigkeit c_0 gemessen, denn die vor der Messung zuletzt mit dem Licht wechselwirkende Materie (z.B. die Lufthülle der Erde oder die Linsen bzw. Spiegel des Teleskops) ist die für den messenden Beobachter maßgebende Quelle der Geschwindigkeit des Lichts.

Bei praktisch allen Lichtgeschwindigkeitsmessungen, die als Beweis für das Zweite Einsteinsche Postulat gelten, durchquert das gemessene Licht vorher mit ihm wechselwirkende Materie, die relativ zum Meßaufbau in Ruhe ist, so daß stets eine von Empfänger- und Quellenbewegung unabhängig konstante Lichtgeschwindigkeit gemessen, beziehungsweise vorgetäuscht wird. Gemessen wird dabei also stets nur Sekundärlicht aus einer relativ zum Meßaufbau ruhenden Lichtquelle (Zwischenmedium), nicht das ursprünglich von der bewegten Lichtquelle emittierte Licht!

Die Aussage des Doppler-Effekts könnte man daher mit folgenden Hypothesen zusammenfassend ergänzen:

1. Das Licht einer bewegten Quelle hat gegenüber dem Empfänger die Ausbreitungsgeschwindigkeit $c + v$ bzw. $c - v$, was bei gleichbleibender Wellenlänge zu einer Zu- bzw. Abnahme der Frequenz relativ zum Beobachter führt.
2. Tritt es mit dem Empfänger (Atom(e), Moleküle) in Wechselwirkung, so sendet dieser Licht mit der neuen Frequenz f' , der neuen Wellenlänge λ' und der Geschwindigkeit c_0 aus.
3. Licht wird von Materie immer mit der konstanten Lichtgeschwindigkeit c_0 (wieder) abgestrahlt. Bei der Wechselwirkung mit Materie findet also eine Geschwindigkeits-Frequenz-Transformation statt.
4. Das Licht hat gegenüber dem Beobachter die Geschwindigkeit $c \pm v_M$ also additiv nur die Geschwindigkeit v_M des zuletzt durchstrahlten Mediums.

Aus den oben genannten Gründen sind auch die Argumente bei der Beobachtung des Doppler-Effektes bei Doppelsternen, Röntgenpulsaren und sich drehender Galaxien als Beweis für das Zweite Einsteinsche Postulat untauglich, da das Licht auf seinem Millionen bis Milliarden Lichtjahren langen Weg längst schon in unmittelbarer Nähe dieser Systeme intergalaktische Gas- und Staubwolken durchquert hat. Zum Beispiel ergäbe der Staub unserer Milchstraße nach neuesten Erkenntnissen auf die Dichte der Erde komprimiert einen Würfel mit 10^9 km Kantenlänge. Schon während der ersten Durchquerung werden die verschiedenen Lichtgeschwindigkeiten homogenisiert und von $c \pm \Delta v$ zu c mit $f \pm \Delta f$ transformiert. Die Laufzeitunterschiede auf dem langen Lichtweg (mit denen argumentiert wird) entstehen erst gar nicht. (Siehe hierzu: Gerthsen Vogel, 18. Auflage 1995, Seiten 837/838)

Um das Zweite Einsteinsche Postulat zu überprüfen bedarf es neuer Experimente, bei denen ein relativ zum messenden Beobachter ruhendes Zwischenmedium vermieden wird. Sollte kein Beweis erbracht werden können, so kann davon ausgegangen werden, daß auch für Licht die klassische Geschwindigkeitsaddition und nicht die relativistische gilt.

7 c) Lichtabsorption/Lichttransmission

Bei der Lichtabsorption wird die Photonenenergie von Atom-Elektronen aufgenommen, so daß das Photon im Atom (am Ort des Atoms) stationär gespeichert ist, bis es nach einer oder mehreren Atom-Umrundungen vom angeregten Elektron (unter Einhaltung der Impulserhaltung) wieder emittiert wird. Bei dieser Art von Absorption reicht die Photonenenergie nicht aus, um den Quantenzustand des absorbierenden Elektrons zu ändern. Für Photonen dieser Energie sind die Atome völlig durchsichtig. Dies gilt auch für die Absorption von Photonen mit einer Geschwindigkeit $c' = c_0 \pm v_{Quelle}$ (7.5). Bei der Reemission der Photonen starten diese jedoch mit der konstanten Lichtgeschwindigkeit c_0 aus dem

Zwischenwirtsatom, so daß aus Photonen mit der Frequenz f_0 und der Geschwindigkeit $c' = c_0 \pm v$ über den *Zwischenwirt* Photonen mit der Geschwindigkeit c_0 und der Frequenz $f' = f_0 \cdot (1 \pm v/c)$ (7.6) erzeugt werden (Dopplereffekt). Photonen, deren Energie ausreicht, den Quantenzustand des wechselwirkenden Elektrons um mindestens 1 zu erhöhen, bringen das Atom in einen (sogenannten) höheren Anregungszustand. Die Photonenenergie bei der zufälligen Emission aus einem angeregten Atom (das damit in den ursprünglichen Ruhezustand zurückfällt) entspricht genau der Differenz der Quantenenergiezustände des Atoms. Die Frequenz dieses emittierten Photons ist mit der Frequenz des ursprünglich absorbierten Photons nicht mehr identisch. Außerdem folgt die Reemission nicht mehr dem Impulserhaltungssatz, was zu einer zufälligen Lichtstreuung führt.

Nach folgender Bemerkung ergänzen die Punkte d und e nahtlos jene aus der Facharbeit.

Bemerkung:

Aufgrund obiger Betrachtungen kann ein echter Beweis für den wichtigsten Grundpfeiler der SRT, das Zweite Einsteinsche Postulat, voraussichtlich nicht erbracht werden. Die Beschreibung eines, vom Verfasser aufgebauten Experimentes zur eindeutigen Bestätigung der Gültigkeit des klassischen und den Ausschluß des relativistischen Dopplereffektes bei Licht, würde an dieser Stelle den Artikel zwar ergänzen, aber seinen Rahmen sprengen (wird später nachgeholt).

Der Verfasser dieses Artikels ist der Meinung, daß sich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit nur auf den Emissionsvorgang von Photonen (bzw. elektromagnetischen Wellen) beschränkt, in der Natur nur die klassische Addition von Geschwindigkeiten in Erscheinung tritt und der Versuch einer Verbiegung von Raum und Zeit mittels SRT unnötig und auch nicht richtig ist.

7 d) Hypothetische Grenzen für die Wechselwirkung von Photonen mit Materie

Voraussetzung der Lichtabsorption, d.h. der Aufnahme der Photonenenergie durch Elektronen der Empfänger materie, ist eine ausreichende Koppelung der elektrischen und magnetischen Felder zwischen Photonen und Elektronen, welche mit zunehmender Relativgeschwindigkeit stark abnimmt und bei einer Differenzgeschwindigkeit der Felder von $v \geq c_0$ völlig aufhört, da sich die elektromagnetischen Felder (mit der jeweils auf Elektronen und Photonen bezogenen und auf c_0 begrenzten Ausbreitungsgeschwindigkeit) nicht mehr erreichen können. Photonen mit $\Delta v \geq c_0$ werden dann zu einer Art Photonenneutrinos. Diese Betrachtungsweise würde auch erklären, warum Neutrinos, die auf Protonen oder Neutronen in Atomkernen treffen, nach Abgabe ihres Bewegungsimpulses in Elektronen, Positronen oder Müonen verwandelt werden, wenn man annimmt, daß (relativ zum Beobachter) überlichtschnelle Teilchen zu nahezu wechselwirkungsfreien Neutrinos werden.

Vielleicht wäre hiermit die Quantenfluktuation im Vakuum erklärt und auch noch die bisher unentdeckte Masse (dunkle Materie genannt – die mehr als **90%** der Weltraummasse ausmachen soll) gefunden, die zur Erklärung der Galaxiebewegungen und Gravitationslinsen von den Astrophysikern bisher verzweifelt gesucht wird. Auch ohne Zeitdilatation wird somit anschaulich, warum fast lichtschnelle Müonen wegen ihrer viel geringeren Wechselwirkung mit ruhender Materie auch viel länger existieren als langsame, analog einem Wassertropfen, der erst zerplatzt, wenn er auf Widerstand (ausreichende Krafteinwirkung) trifft.

Die Annahme, daß die Kraftwirkung auf ein geladenes, in einem elektromagnetischen Feld beschleunigten Teilchen bei Erreichen der Feldausbreitungsgeschwindigkeit c_0 aufhört, ist viel anschaulicher und leichter begreifbar, als die Behauptung der SRT, daß die Masse eines auf c_0 beschleunigten Teilchens unendlich groß wird [Das Auftreffen der Lichtquanten, die ja nicht wirklich masselos sind (vergleiche Compton-Effekt, $m_{ph} = h/\lambda \cdot c$ oder die Ablenkung im Gravitationsfeld), hätte uns längst vernichtet].

Die von der Teilchengeschwindigkeit (relativ zu den Feldquellen) abhängige Kraftwirkung und weitere logische Annahmen führen zu einem allgemeiner anwendbaren, galileitransformationskovarianten Neuansatz einer klassischen Elektrodynamik, der in der speziellen Form für stationäre Felder (Feldquellen relativ zueinander ruhend) mit den Maxwell-Gleichungen identisch wird. Hieraus abgelitten stecken Energie und Impuls eines im Feld auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigten geladenen Teilchens, die beim Auftreffen auf ein Target frei werden, nicht nur in dessen praktisch unveränderter Teilchenmasse, sondern fast ausschließlich in der gespeicherten (masseäquivalenten) Feldenergie des von der Teilchenladung angeführten „Feldschlauches“.

Bei der Photonen-Materie-Wechselwirkung findet die maximale Feldkoppelung und Energieübernahme vorzugsweise durch Elektronen statt, deren vektorielle Relativgeschwindigkeit im Empfängeratom der Quellengeschwindigkeit der aufgenommenen Photonen entspricht. Mit Hilfe des Bohrschen Atommodells lassen sich die Bahngeschwindigkeiten v_e der Elektronen annähernd berechnen, welche zur Wechselwirkung, für z.B. sichtbares Licht, zur Verfügung stehen:

$$v_e = \frac{h}{2\pi \cdot a_0 \cdot m_e} \cdot \frac{Z_e}{n} \approx 7,3 \cdot 10^{-3} \cdot c_0 \cdot \frac{Z_e}{n} \quad (7.7), \quad \text{wobei } a_0 \approx 0,539 \cdot 10^{-10} m \text{ der minimale}$$

Wasserstoffatomradius, Z_e die Kernladungszahl und n die Quantenzahl sind. Die potentielle

Elektronenenergie ist $E_n = -E_0 \cdot \frac{Z_e^2}{n^2}$ (7.8) und die Photonenenergie

$$h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \Delta E_n = 13,6 \text{ eV} \cdot Z_e^2 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (7.9). \text{ Für die } 585,6 \text{ nm Wasserstoff-Spektrallinie}$$

sind $n_1 = 2$, $n_2 = 3$ und damit $v_e = 0,00365 \cdot c_0$ und z.B. für die **504,5 nm** Gold-Spektrallinie sind $n_1 = 9$, $n_2 = 10$ so daß sich damit $v_e = 0,0641 \cdot c_0$ ergibt.

Je größer also die Ordnungszahl der wechselwirkenden Atome ist, um so größer ist auch der Spielraum für den Bereich der Geschwindigkeits-Frequenz-Transformation beim Dopplereffekt

$$(0 \text{ bis } \pm v_e \rightarrow \Delta f \text{ von } 0 \text{ bis } \pm f_0 \cdot \frac{v_e}{c_0} = \frac{v_e}{\lambda}) \quad (7.10).$$

Um sichtbares Licht, das von Galaxien oder Quasaren mit einer Fluchtgeschwindigkeit von z.B. $0,5 \cdot c_0$ ausgestrahlt wird überhaupt empfangen bzw. sehen zu können, muß es auf seinem Weg zur Erde etwa

$$z = \frac{0,5 \cdot c_0}{0,003 \cdot c_0} \approx 166 \text{ Zwischenwirte (Wasserstoffgaswolken) durchqueren, die alle relativ zueinander}$$

eine Geschwindigkeit von ca. $0,003 \cdot c_0$ haben, um schrittweise insgesamt $0,5 \cdot c_0$ in die entsprechende Dopplerverschiebung transformieren zu können (bei Goldstaub wären nur ca. **8** Zwischenstufen nötig). Wenn die oben dargelegten Annahmen über die Lichtausbreitung annähernd richtig sind, so können wir weit entfernte Galaxien und Sterne nur mit Hilfe der zwischen diesen Objekten und uns liegenden Gas- und Staubwolken sehen, indem sie als Lichtzwischenräger die Relativlichtgeschwindigkeit dieser Objekte kontinuierlich an unser Bezugssystem anpassen, uns dafür aber eine von der Quellengeschwindigkeit unabhängige-konstante Lichtgeschwindigkeit vortäuschen. Auch die Berechnungen über Alter und Entfernungen im Universum sind davon betroffen und entsprechend zu korrigieren.

Zur Überprüfung oben dargelegter Hypothesen schlägt der Verfasser folgendes Experiment vor:

7 e) Erzeugung und Empfang von Photonen mit Überlichtgeschwindigkeit

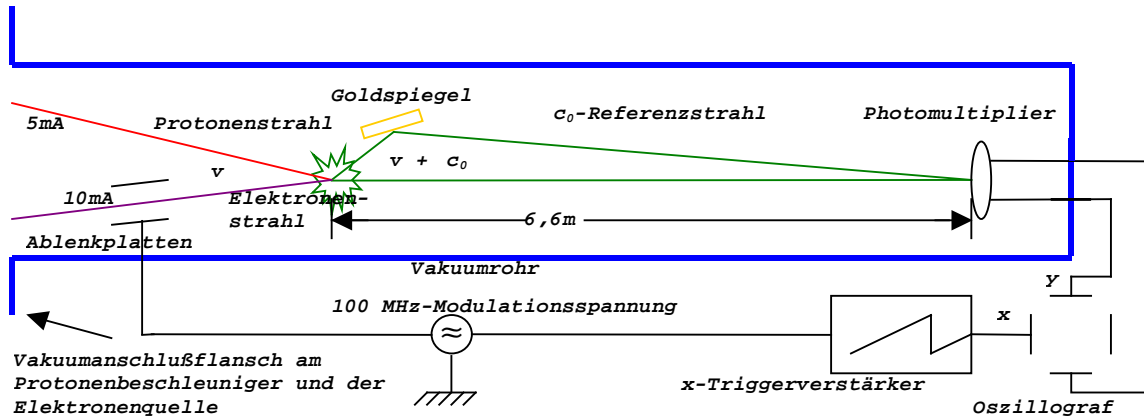
Bei diesem Experiment geht es um den Vergleich der Laufzeit von Photonen im Vakuum, die von einer pulsierenden bewegten Lichtquelle ausgehen, wovon ein Teil direkt, ein anderer Teil über einen Spiegel am Emissionsort auf eine Photozelle treffen, welche die empfangenen Lichtsignale in Spannungsimpulse umwandelt. (siehe Zeichnung)

Versuchsordnung (Entwurf):

Als bewegte Lichtquelle im Geschwindigkeitsbereich von ca. $0,005 \cdot c_0$ bis $0,1 \cdot c_0$ soll bei diesem Versuch ein in einem Beschleuniger erzeugter Protonenstrahl dienen, der sich mit einem Elektronenstrahl gleicher Geschwindigkeit unter einem spitzen Winkel von ca. **5 Grad** im Vakuum trifft. Das am Kreuzungspunkt durch Rekombination erzeugte Licht wird teilweise von einem Goldkonkavspiegel (am Kreuzungspunkt) auf einen Photomultiplier mit relativ großer Kathodenfläche (etwa 2 cm^2) fokussiert, der sich in der Vakuumröhre in einer Entfernung von ca. **6,6 m** vom Lichtpunkt befindet. Ein anderer Teil des von der bewegten Lichtquelle erzeugten Lichts erreicht direkt die Photomultiplier-Kathode.

Um ca. $0,25 \text{ nsec}$ dauernde Lichtblitze zu erzeugen wird entweder der Elektronenstrahl durch zwei Ablenkplatten geführt, an denen eine 100 MHz -Ablenkspannung anliegt, oder man erzeugt aus Energiespargründen gleich ca. $0,25 \text{ nsec}$ -Protonenimpulse mit 5 nsec Abstand im Beschleuniger.

Skizze 7.1



Abschätzung zur Dimensionierung einiger Versuchsparameter

1.) Kontinuierlicher Protonenstrahl von 5 mA mit 11 kV bis $4,7 \text{ MV}$ für v ca. $0,005 \cdot c_0$ bis $0,1 \cdot c_0$. Elektronenstrahl mit 100 MHz richtungsmoduliert ca. 10 mA und $6,5 \text{ eV}$ bis $2,6 \text{ keV}$ durchkreuzt alle 5 nsec den Protonenstrahl. Durch Rekombination erzeugte Photonenmenge pro Lichtblitz:

$$N \approx \frac{5 \text{ mA} \cdot 0,25 \text{ nsec}}{e} \approx 7,8 \cdot 10^6 \quad (7.11). \text{ Die auf der Photokathode direkt auftreffende}$$

$$\text{Photonenmenge: } N_K \approx \frac{2 \text{ cm}^2 \cdot N}{4\pi \cdot (6,6 \text{ m})^2} \approx 3 \text{ Photonen/Lichtblitz} \quad (7.12)$$

(mit Sammellinse oder Spiegel $> 2 \text{ cm}^2$ zu verstärken)

$$2.) \text{ Protonenstrahl-} 100 \text{ MHz}/0,25 \text{ nsec}\text{-moduliert } 50 \text{ mA} \rightarrow \frac{0,25 \text{ nsec}}{5 \text{ nsec}} \cdot 50 \text{ mA} \rightarrow 2,5 \text{ mA-Mittelwert}$$

Kontinuierlicher Elektronenstrahl mit ca. 100 mA . Hierbei ergibt sich: $N_K \approx 30 \text{ Photonen/Lichtblitz}$. Mit dieser Alternative wird am Photomultiplier ein zehnfach stärkeres Signal erzeugt, bei gleichzeitiger Halbierung der Beschleunigerleistung.

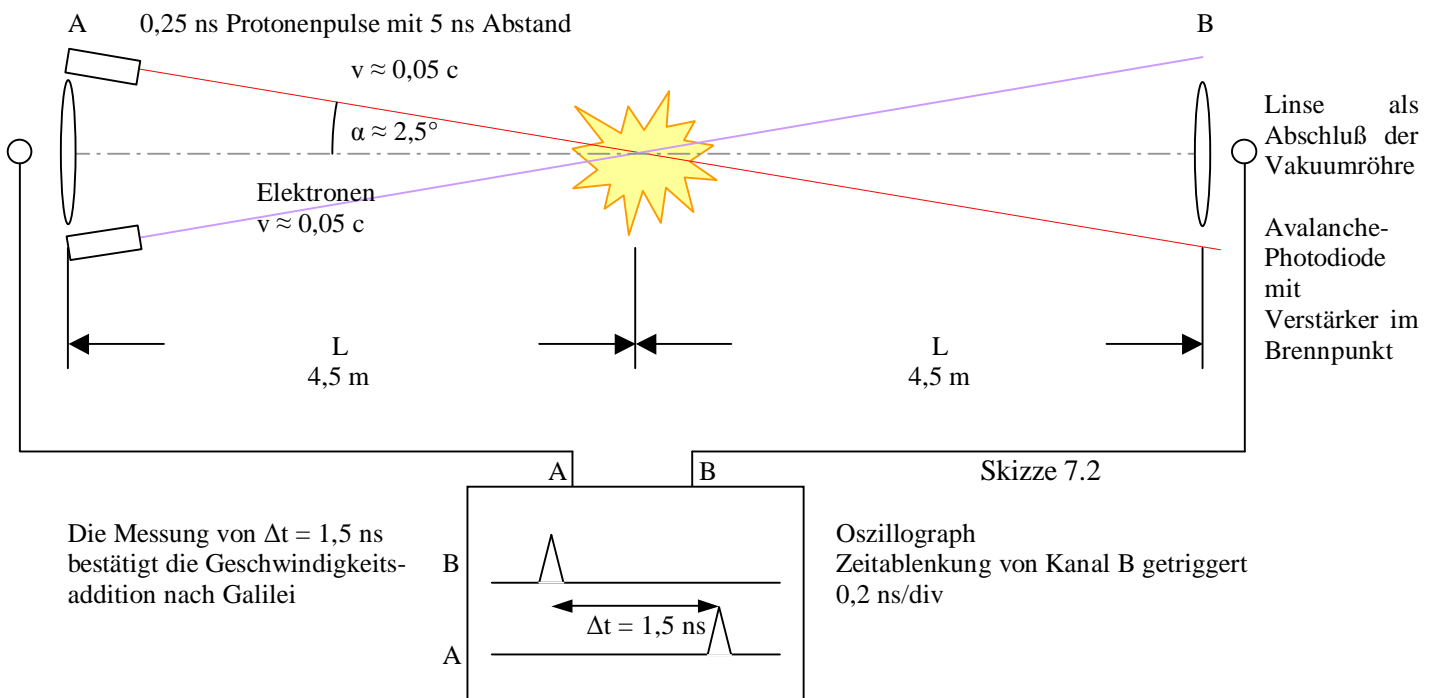
3.) Das Referenz-Lichtsignal über den Goldspiegel benötigt $6,6 \text{ m}/c_0 = 22 \text{ nsec}$ und das voraussichtlich schnellere direkte Lichtsignal nur 20 nsec bei $0,1 \cdot c_0$ -Protonengeschwindigkeit, so daß bei einem Impulsabstand (des c_0 -Signals) von 5 nsec am, mit der 100 MHz -Modulationsspannung synchron getriggerten Oszilloskop ($0,5 \text{ ns/div}$), das um 2 nsec voreilende Signal sich mit guter Bildauflösung darstellen läßt.

Wertung der Versuchsergebnisse:

Sollten sich am angeschlossenen Oszillographen Doppelimpulse zeigen, deren Zeitdifferenz der Lichtquellengeschwindigkeit proportional ist, so wäre dies ein Beweis für die klassische Addition der Lichtgeschwindigkeit mit der Quellengeschwindigkeit. Das Vorseilen des von der Quellengeschwindigkeit abhängigen Pulses innerhalb der normalen Lichtlaufzeit, wäre der Beweis für die erreichte Überlichtgeschwindigkeit der Photonen. Das Verschwinden der Doppelimpulse ab einer bestimmten Quellengeschwindigkeit zeigt die Grenze der Photonen-Elektronen-Wechselwirkung im Material von Spiegel und Photomultiplier an.

Alternative Versuchsanordnung

Ein alternativ zu oben dargelegtem Experimentvorschlag (ebenfalls im Vakuum) erstmals 1984 durchgeführtes Experiment führt zu folgendem Ergebnis:



Nach dem Zweiten Einsteinschen Postulat würden die Lichtblitze unabhängig von v gleichzeitig bei den Photozellen A und B eintreffen, so daß nur ein Spannungsimpuls in beiden Kanälen an der gleichen Stelle angezeigt würde.

Bei der Geschwindigkeitsaddition von $c \pm v$ entsteht eine Laufzeitdifferenz und es werden zwei getrennte Spannungsimpulse mit dem zeitlichen Abstand $\Delta t = \frac{2 \cdot L \cdot v \cdot \cos \alpha}{c^2 - v^2}$ (7.13) sichtbar.

Mit diesem Experiment läßt sich das Zweite Einsteinsche Postulat überprüfen und zeigen, daß die Geschwindigkeitsaddition auch bei Lichtstrahlen (entsprechend der Galileitransformation) stattfindet.

8 Anhänge

Anhang I:

Auszug aus der Facharbeit

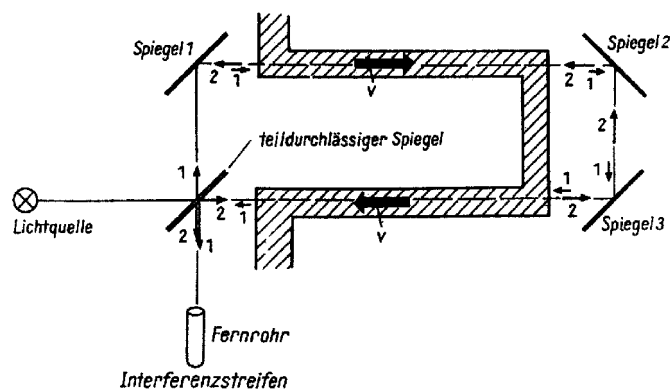
4. Die Säule der relativistischen Geschwindigkeitsaddition: Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

c) Der Fizeau Versuch:

Ein weiterer wichtiger Versuch im Zusammenhang mit der relativistischen Geschwindigkeitsaddition ist der Versuch von Fizeau, der von diesem erstmals 1851 gemacht und immer wieder von anderen Physikern wiederholt wurde. In diesem Versuch geht es um die Messung der Lichtgeschwindigkeit in ruhenden und bewegten Flüssigkeiten. Die Geschwindigkeit des Lichts wird hierbei bestimmt durch die Vakuumlichtgeschwindigkeit c und den Brechungsindex n des Mediums. Es ergibt sich: $c_M = \frac{c}{n}$

Am folgenden Versuchsaufbau soll das Fizeausche Experiment veranschaulicht werden:

Skizze 8.I.1



Darstellung entnommen (Horst Melcher, Relativitätstheorie in elementarer Darstellung, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Berlin 5. Auflage 1972, Seite 51.)

Durch einen halbdurchlässigen Spiegel wird ein Lichtstrahl geteilt, dessen eine Komponente sich in Strömungsrichtung des sich durch eine Art U-Rohr mit der Geschwindigkeit v bewegenden Mediums fällt, während die andere Komponente sich entgegengesetzt bewegt. Beim wieder zusammenführen der Strahlen im Interferometer ergibt sich ein von v abhängiger Gangunterschied, der durch eine Verschiebung des Interferenzmusters zu erkennen ist. Es wurde die Geschwindigkeit bei einem Gangunterschied (für ungeradzahlige vielfache) von $\lambda/2$ gemessen, da hier die Minima der Interferenzstreifen auftreten. Klassisch würde man vermuten, die Geschwindigkeit des Lichts im Medium sei:

$$c_M = \frac{c}{n} + v, \text{ in Strömungsrichtung bzw. } c_M = \frac{c}{n} - v \text{ entgegen der Strömungsrichtung}$$

Die Untersuchungen ergaben jedoch: $c_M = \frac{c}{n} + v \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ bzw. $c_M = \frac{c}{n} - v \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ (8.I.1)

Das heißt, die für den Gangunterschied $\lambda/2$ berechnete Geschwindigkeit v_r ist um den Faktor $\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$, der auch als Fresnelscher Mitführungskoeffizient bezeichnet wird, kleiner als die gemessene Geschwindigkeit v des Mediums. Da dieses Ergebnis mit klassischen Ansätzen bisher nicht erklärbar war, versuchte man diesen Sachverhalt mit Hilfe der speziellen Relativitätstheorie zu deuten. Man macht für c_M also den Ansatz der relativistischen Geschwindigkeitsaddition:

$$c_M = \frac{\frac{c}{n} + v}{1 + \frac{\frac{c}{n} \cdot v}{c^2}} = \frac{\frac{c}{n} + v}{1 + \frac{v}{n \cdot c}} \quad (8.I.2)$$

Der Term $\frac{1}{1 + \frac{v}{n \cdot c}}$ entspricht für kleine v angenähert dem Term $1 - \frac{v}{n \cdot c}$. Damit gilt näherungsweise:

$$c_M = \left(\frac{c}{n} + v\right) \cdot \left(1 - \frac{v}{n \cdot c}\right) = \frac{c}{n} - \frac{v}{n^2} + v - \frac{v^2}{n \cdot c}$$

Vernachlässigt man $\frac{v^2}{n \cdot c}$, so läßt sich weiter zusammenfassen zu:

$$c_M = \frac{c}{n} + v - \frac{v}{n^2} = \frac{c}{n} + v \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \quad (8.I.3)$$

Dieser so erhaltene Term stimmt mit dem durch das Experiment gewonnenen überein. Der Fizeau-Versuch wird deshalb als Bestätigung für das relativistische Geschwindigkeitsadditionstheorem angesehen. So ergibt sich für die Vakuumlichtgeschwindigkeit auch stets der Wert c_0 , da im Vakuum $n = 1$ ist. Die Rechnung lautet dann:

$$c_{\text{Vakuum}} = \frac{c}{1} + v \cdot \left(1 - \frac{1}{1^2}\right) = c + 0 = c_0$$

Diese Rechnung ist im Grunde genommen jedoch überflüssig, denn im Vakuum gibt es kein Medium (Äther oder Atome) welches das Licht mitführen könnte und somit ist auch die Geschwindigkeit $v = 0$, so daß es sowieso zu keiner Geschwindigkeitsaddition kommen kann. Für einen relativistischen Effekt ist dieser in der oben diskutierten Formel auch für kleine Medium-Geschwindigkeiten recht hoch und außerdem von diesen unabhängig und nur durch den Brechungsindex n bestimmt, so daß der Verdacht nahe liegt, daß dieser „Mitführungskoeffizient“ durch einen, beim Fizeau-Experiment auftretenden, aber bisher nicht

beachteten physikalischen Effekt verursacht wird und die relativistische Deutung nur eine Scheinerklärung darstellt.

Anmerkung zum Fizeau-Versuch: (Nachträglich hinzugefügt)

Wenn man von neueren Erkenntnissen ausgeht, so erfolgt die Lichtausbreitung auch in einem Medium mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit c_0 zwischen den Mediumatomen/-molekülen. Die Lichtlaufzeit verlängert sich allerdings um die Verzögerungszeiten in den Atomen/Molekülen, welche durch die Lichtabsorption und Reemission entstehen (7c). Für eine ruhende Mediumwegstrecke l benötigt das

Licht also die Zeit $\frac{l}{c_0} + t_0$, so daß sich für $c_M = \frac{l}{t + t_0} = \frac{l}{\frac{l}{c_0} + t_0} = \frac{c_0}{n}$ ergibt. Die Summe aller

Verzögerungszeiten läßt sich dann aus dem Brechungsindex n des Mediums errechnen:

$$t_0 = t \cdot (n - 1) = \frac{l}{c_0} \cdot (n - 1) \quad (8.I.4)$$

Während der Zeit t_0 hat das Licht beim Fizeau-Versuch nur die Geschwindigkeit $\pm v_M$ der Mediumatome/Moleküle und während der Zeit t also die Geschwindigkeit $c_0 \pm v_M = c'$. Berücksichtigen wir nun die oben dargelegte Lichtausbreitung im Medium und machen erneut den Ansatz der relativistischen Geschwindigkeitsaddition:

$$c' = \frac{c_0 \pm v_M}{1 \pm \frac{v_M}{c_0}} \text{ und } t' = \frac{l}{c'}, \text{ so erhalten wir } c_M = \frac{l}{t' + t_0'} \rightarrow c_M = \frac{l}{\frac{l}{c'} + \frac{l}{c'} \cdot (n - 1)}, \text{ was sich schließlich}$$

weiter umformen läßt zu $c_M = \frac{c_0}{n}$ und von v_M nun aber völlig unabhängig ist. Dieses relativistische

Ergebnis steht im Widerspruch zu der tatsächlichen Abhängigkeit von der Mediumgeschwindigkeit beim Fizeau-Versuch. Bei der klassischen Berechnung der oben beschriebenen Lichtausbreitung erhalten wir für den Geschwindigkeitsmittelwert aus c_0 und v_M :

$$c_M = \frac{(c_0 \pm v_M) \cdot t \pm v_M \cdot t_0}{t + t_0} = \frac{t \cdot [(c_0 \pm v_M) \pm v_M \cdot (n - 1)]}{t \cdot (1 + n - 1)} = \frac{c_0}{n} \pm v_M$$

also den klassischen Ansatz.

d) Der Sagnac-Effekt:

Skizze 8.I.2

Auf dem Sagnac-Effekt basieren Ringlaser- und Fasergyroskope, die in der modernen Luftfahrt zur Navigation eingesetzt werden. Beim Fasergyroskop, das dem Sagnacschen Versuchsaufbau am ehesten entspricht, sind die Spiegel durch ein, bis zu einem Kilometer langes, zur Spule aufgewickeltes Glasfaserkabel als Lichtleiter ersetzt.

Die Empfindlichkeit wird dadurch erheblich gesteigert, da diese dem Lichtweg proportional ist. Der gemessene Gangunterschied wird dann zu

$$\Delta Z = \frac{4 \cdot F}{c_0 \cdot \lambda_0} \cdot \omega \cdot N$$

(8.I.5), wobei F die Spulenkreisfläche und N die Windungszahl der Glasfaser darstellt. Beim Fasergyroskop

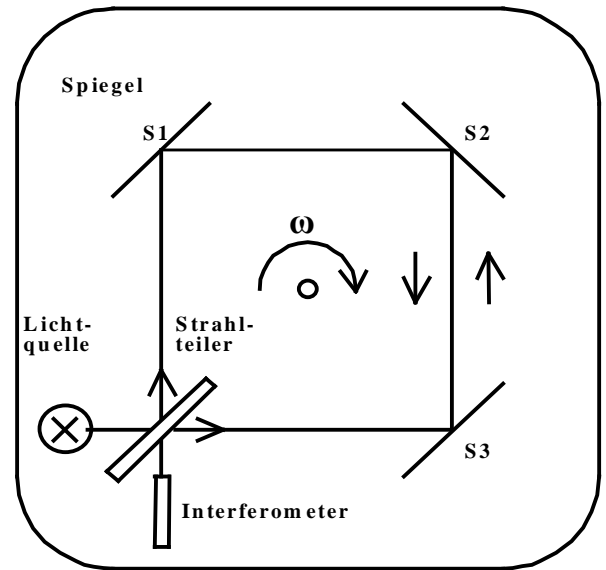
ist der Sagnac-Effekt vom Brechungsindex n der Glasfaser völlig unabhängig. Dieser Befund läßt darauf schließen, daß sich die Photonen auch innerhalb eines Mediums mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit c_0 ausbreiten.

Der Versuch wurde vom Physiker Georges Marc Marie Sagnac zum ersten mal im Jahre 1913 durchgeführt. Die optische Anordnung ist mit dem des Fizeauschen Versuchs nahezu identisch. Die Lichtquelle, die Spiegel, der Strahlteiler und das Interferometer sind auf einer drehbar gelagerten Scheibe fest montiert. Wird nun die Anordnung in Pfeilrichtung gedreht, so ergibt sich für den in Drehrichtung gerichteten Lichtstrahl eine kürzere Lichtlaufzeit, wohingegen die Laufzeit des entgegengesetzt gerichteten Strahls länger wird. Für den mit der (bzw. gegen die) Drehrichtung umlaufenden Strahl ist die Winkelsumme der Reflexionswinkel $< 360^\circ$ (bzw. $> 360^\circ$). Bei Rotation mit der Winkelgeschwindigkeit ω wird das durch das Interferometer beobachtete Interferenzmuster

um den Gangunterschied $\Delta Z = \frac{4 \cdot F}{c_0 \cdot \lambda_0} \cdot \omega$ (8.I.5.1) verschoben, wobei λ_0 die Wellenlänge, c_0 die

Vakuumlichtgeschwindigkeit und F die vom Lichtweg eingeschlossene Fläche ist.

Aufgrund des ähnlichen Aufbaus kann man bei näherer Betrachtung zu einer klassischen Erklärung des Fizeau-Versuches gelangen. Beim Fizeauschen Experiment nämlich bewegt sich zwar nicht der gesamte Aufbau, wie bei Sagnac, aber anstelle dessen das Medium, was einem gegenläufigen Sagnac Effekt entspricht. Zur Erläuterung ein Beispiel. Lässt man sich auf einem Boot mit der Strömung treiben und betrachtet man eine Brücke, während man unter ihr durchfährt, so hätte es den gleichen Effekt, wenn das Boot in Ruhe wäre und sich die Brücke über einen schieben würde. Der gegen den Mediumsfluß laufende Strahl ist kürzer, als der mit dem Medium laufende. Während des Fizeau-



Versuches wird also gleichzeitig auch ein Sagnac-Versuch durchgeführt, wobei sich die Gangunterschiede beider Experimente teilweise aufheben.

Der Gangunterschied bei Fizeau:

Die Geschwindigkeit des Lichts wird in Flußrichtung mit $c_1 = \frac{c}{n} + v_r$ bzw. $c_2 = \frac{c}{n} - v_r$ entgegen dieser angenommen, wie es die klassische Geschwindigkeitsaddition erwarten lässt. Die Anzahl der Wellenlängen auf dem Lichtweg l ist dann im ruhenden Medium $Z_0 = l/\lambda_M$ und die Frequenz

$f = \frac{c_M}{\lambda_M} = \frac{c_0}{\lambda_0}$ so daß im bewegten Medium $\lambda_1 = \frac{c_1}{f}$ und $\lambda_2 = \frac{c_2}{f}$ sind und somit

$Z_1 = l \cdot \frac{f}{c_1} = l \cdot f \cdot \frac{1}{\frac{c}{n} + v_r}$ und $Z_2 = l \cdot \frac{f}{c_2} = l \cdot f \cdot \frac{1}{\frac{c}{n} - v_r}$ werden.

Für den Gangunterschied ΔZ_F bei Fizeau ergibt sich:

$$\Delta Z_F = Z_2 - Z_1 = l \cdot f \cdot \left(\frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_1} \right) = l \cdot \frac{c}{\lambda_0} \cdot \left(\frac{1}{\frac{c}{n} - v_r} - \frac{1}{\frac{c}{n} + v_r} \right) = l \cdot \frac{c}{\lambda_0} \cdot \left(\frac{\left(\frac{c}{n} + v_r \right) - \left(\frac{c}{n} - v_r \right)}{\frac{c^2}{n^2} - v_r^2} \right)$$

$$\Delta Z_F = \frac{l \cdot c}{\lambda_0 \cdot c^2} \cdot \frac{2 \cdot v_r}{\frac{1}{n^2} - \frac{v_r^2}{c^2}} \approx \frac{2 \cdot l \cdot n^2}{\lambda_0 \cdot c} \cdot v_r \text{ wobei } \frac{v_r^2}{c^2} \rightarrow 0 \text{ vernachlässigt wird.}$$

Für die Geschwindigkeit beim Interferenzminimum ist $\Delta Z_F = 1/2$. Die Berechnung für v_r ergibt:

$$1/2 = \frac{2 \cdot l \cdot n^2}{\lambda_0 \cdot c} \cdot v_r \Rightarrow v_r = \frac{\lambda_0 \cdot c}{4 \cdot l} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (8.I.6)$$

Im folgenden ist nun eine Tabelle zum Fizeau-Versuch aufgeführt, deren Werte dem Gerthsen-Vogel Physikbuch ²⁾ auf Seite 880 entnommen bzw. mit diesen errechnet sind. Zu diesen Werten gehören Die Brechzahl n verschiedener Medien, die für einen Gangunterschied von $\lambda/2$ gemessene Geschwindigkeit v , die (nach Fizeau) errechnete Geschwindigkeit v_r . Desweiteren sind die Verhältnisse dieser Geschwindigkeiten und der Wert des Fresnelschen Mitführungskoeffizienten angegeben. Der Lichtweg l beträgt $3m$ und $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$. Für diese Daten ist $v_r \approx 12,4914 \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{n^2}$.

Medium	Brechzahl n	v gemessen	v_r errechnet	v_r / v	$1 - \frac{1}{n^2}$ *	Fehler in %	v_k^* [m/s]	Fehler v/v_k in %
Wasser	1,33	15,9 m/s	7,062 m/s	0,4441	0,4347	+2,18	16,246	-2,13
Ethanol	1,36	14,8 m/s	6,754 m/s	0,4563	0,4593	-0,66	14,703	+0,66
Benzol	1,50	10,2 m/s	5,552 m/s	0,5443	0,5556	-2,03	9,993	+2,07
Schwefelkohlenstoff	1,63	7,4 m/s	4,701 m/s	0,6353	0,6236	+1,88	7,539	-1,84

Das Produkt des Fresnelschen Mitführungskoeffizienten* mit der gemessenen Geschwindigkeit ergibt

also in etwa die mit der Fizeau-Formel errechnete, so daß man $c_M = \frac{c}{n} \pm v \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ als Formel für

die Geschwindigkeit im Medium annehmen könnte.

Der Gangunterschied bei Sagnac:

In der mir zur Verfügung stehenden Literatur findet sich leider nur die Angabe des sagnacschen Gangunterschieds ΔZ_S ohne genaue Ableitung. Die Formel für den Gangunterschied läßt sich wie folgt umformen:

$$\Delta Z_S = \frac{4 \cdot F}{c \cdot \lambda_0} \cdot \omega \Rightarrow \frac{2}{c \cdot \lambda_0} \cdot \pi \cdot d \cdot \frac{d}{2} \cdot \omega \Rightarrow \frac{2 \cdot l}{c \cdot \lambda_0} \cdot v \quad (8.I.7)$$

F stellt die vom Lichtweg l (Kreisumfang $l = \pi \cdot d$) eingeschlossene Kreisfläche dar, wobei gilt:

Fläche $F = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$ und Umfangsgeschwindigkeit $v = r \cdot \omega = \frac{d}{2} \cdot \omega$ (analog zum Fasergyroskop).

Bei Berechnung des Gangunterschieds beim Fizeau-Versuch mit Berücksichtigung des Sagnac-Effektes ergibt sich:

$$\Delta Z = \Delta Z_F - \Delta Z_S = \frac{2 \cdot l \cdot n^2}{c \cdot \lambda_0} \cdot v - \frac{2 \cdot l}{c \cdot \lambda_0} \cdot v = \frac{2 \cdot l}{c \cdot \lambda_0} \cdot (n^2 - 1) \cdot v \quad (8.I.8)$$

Fizeau - Sagnac

Für Auslöschung durch Interferenz gilt wieder $\Delta Z = 1/2$. Damit kann die Geschwindigkeit v_k errechnet werden, die sich durch Kombination von Fizeau und Sagnac ergibt.

$$1/2 = \frac{2 \cdot l}{c \cdot \lambda_0} \cdot (n^2 - 1) \cdot v_k \Rightarrow v_k = \frac{c \cdot \lambda_0}{4 \cdot l} \cdot \frac{1}{n^2 - 1}$$

Für $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ und $l = 3 \text{ m}$ erhält man $v_k \approx 12,4914 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{n^2 - 1}$. Die für die jeweiligen

Brechungsindices n mit dieser Formel errechneten Geschwindigkeiten wurden zum Vergleich in die obige Tabelle integriert (siehe unter v_k^*). Man kann daraus erkennen, daß bei Berücksichtigung des Sagnac-Effekts die mit der klassischen Geschwindigkeitsaddition berechneten Werte mit den gemessenen direkt übereinstimmen, ohne daß ein (fragwürdig relativistisch erklärter) Korrekturfaktor nötig ist. Geht der Brechungsindex des Mediums gegen den Wert 1 , so heben sich die Gangunterschiede des Fizeau- und des Sagnac-Effektes gegenseitig nahezu auf, unter Beibehaltung der klassischen Grundannahme $c' = c_0 \pm v_M$.

Unter Berücksichtigung des Sagnac-Effekts wird der Fizeau-Versuch somit zu einer experimentellen Bestätigung der klassischen Geschwindigkeitsaddition nach Galilei auch bei Lichtstrahlen, womit das 2. Einsteinsche Postulat eindeutig widerlegt wird.

Anhang II :

Bestätigt der Müonenzerfall die Zeitdilatation?

Müonen sind (instabile) Elementarteilchen mit einer positiven oder negativen Elementarladung und etwa der 207-fachen Elektronenmasse mit dem Spin $\frac{1}{2}$ und sie entstehen bei hochenergetischen Stoßprozessen aus dem Zerfall von Pionen (bzw. Mesonen) zusammen mit den entsprechenden Neutrinos: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ und $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$. Die Müonen verhalten sich bei der Wechselwirkung mit Materie wie Elektronen, bzw. Positronen. Die mittlere Lebensdauer praktisch ruhender Müonen beträgt ca. $2,2\mu\text{s}$. Beim Zerfall entstehen Elektronen bzw. Positronen und die zugehörigen Neutrinos: $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu + 105 \text{ MeV}$ bzw. $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu + 105 \text{ MeV}$. Das Müon wurde 1937 von Anderson und Neddermeier in der kosmischen Höhenstrahlung entdeckt. Auf Meereshöhe bestehen ca. **90 %** dieser Strahlung aus Müonen. Diese Müonen entstehen aus primärer kosmischer Strahlung in einer Höhe von ca. **38 km** bei Stoßprozessen in der Stratosphäre.

Die Tatsache, daß ein großer Teil (durchschnittlich **> 3 %**) der erzeugten Müonen die Erde erreicht, läßt darauf schließen, daß die Zerfallszeit erheblich von der Müongeschwindigkeit abhängig ist, denn bei nahezu Lichtgeschwindigkeit ($v \rightarrow c_0$) und konstanter Zerfallszeit von $\tau_0 \approx 2,2\mu\text{s}$ wären

bei $N = N_0 \cdot e^{-\frac{\Delta h}{v \cdot \tau_0}}$ (8.II.1) schon nach $\Delta h \approx 1 \text{ km}$ nur noch ca. **22 %** und bei einer Richtungsausbeute von ca. **9 %** nur noch weniger als **2 %** der erzeugten Rate meßbar.

Die Zunahme der Zerfallszeit mit der Geschwindigkeit wird derzeit allgemein als Existenzbeweis der Zeitdilatation und damit als Indiz für die Richtigkeit der SRT angesehen. Zum Beispiel für $v = 0,9998 \cdot c_0 \rightarrow$ zurückgelegter Weg $s = v \cdot \tau' \approx c_0 \cdot \tau_0 / \sqrt{1 - \beta^2} \approx 33 \text{ km}$;

Eine Alternative zu dieser Erklärung ist die Hypothese, daß die Instabilität bzw. der Müonenzfall eine Folge der elektromagnetischen Einwirkung der umgebenden Materie ist und die Kraftwirkung auf eine bewegte Ladung im elektromagnetischen Feld mit höherwerdenderer Ladungsgeschwindigkeit abnimmt. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit des stationären (von der ruhenden Materie ausgehenden) Feldes und des von der bewegten Ladung ausgehenden Feldes auf jeweils Lichtgeschwindigkeit c_0 begrenzt ist, können die Felder die jeweils korrespondierende Ladung bei einer Teilchengeschwindigkeit von c_0 nicht mehr erreichen, so daß nahezu keine Wechselwirkung (gegenseitige Beeinflussung) mehr erfolgen kann. Bei einer Müonengeschwindigkeit von ca. c_0 wird also die Lebensdauer von der durchflogenen Materie praktisch nicht mehr begrenzt.

Diese Hypothesen werden durch Experimente gestützt, die von Philipp Lenard (um 1900) mit Kathodenstrahlen durchgeführt wurden. Lenard hat den Absorptionskoeffizienten α für verschiedene Elektronengeschwindigkeiten in Luft gemessen. Im Physik-Lehrbuch Christian Gerthsen und Hans O. Kneser, siebte Auflage 1963 / Springer Verlag, sind auf Seite 323 V§6 – Tabelle 31 diese Meßergebnisse aufgelistet. α in cm^{-1} bei 1 Atm und 0° C in Abhängigkeit von $\frac{v}{c_0} = \beta$; Die durch

Intensitätsmessung gewonnenen Ergebnisse folgen der Gleichung $N = N_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x}$ (8.II.2), wobei x die Dicke der durchstrahlten Luftschicht ist, welche dem Höhenunterschied Δh entspricht. Gleiche Gasdichte vorausgesetzt, sind $\frac{\Delta h}{v \cdot \tau'}$ identisch mit $\alpha \cdot x$ und x mit Δh . Bei $\beta = \frac{v}{c}$ ergibt sich dann für

$$\tau' = \frac{1}{\alpha \cdot \beta \cdot c} \quad (8.II.3).$$

In folgender Tabelle sind der Absorptionskoeffizient α mit β , τ' und τ'/τ_0 korreliert:

Tab 8.II.1

$\beta = \frac{v}{c}$	0,01	0,04	0,10	0,20	0,30	0,50	0,70	0,90
$\alpha \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$2,3 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^2$	28	3,7	0,77
$\tau' \text{ [sec]}$	$1,45 \cdot 10^{-13}$	$1,11 \cdot 10^{-13}$	$3,33 \cdot 10^{-13}$	$3,55 \cdot 10^{-12}$	$3,00 \cdot 10^{-11}$	$2,38 \cdot 10^{-10}$	$1,29 \cdot 10^{-9}$	$4,81 \cdot 10^{-9}$
τ'/τ_0	1,3	1	3,0	32	270	2144	11622	43243

Der Wert $1,11 \cdot 10^{13} \text{ sec}$ wurde für τ_0 angenommen, da er aus der Tabelle als minimale Zerfallszeit hervorgeht.

Die Tabelle zeigt, daß die Zunahme der Absorptionszeit (Zerfallszeit) mit der Elektronengeschwindigkeit (in Luft) täuschend ähnlich wie bei der Zeitdilatation bei der Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit verläuft, allerdings schon bei deutlich niedrigeren Geschwindigkeiten als bei der Zeitdilatation. Daraus ist ersichtlich, daß die etwa exponentiell verlaufende feldabhängige Zerfallszeiterhöhung in Abhängigkeit von der Ladungsträgergeschwindigkeit primär in Erscheinung tritt, längst bevor sich die von der SRT vorhergesagte Zeitdilatation in gleicher Größenordnung auswirken könnte. Der Anteil einer Zeitdilatation (deren Existenz vorausgesetzt) bliebe damit stets im Gesamtverlauf der Funktion $\tau'(\beta)$ von untergeordneter Bedeutung und damit kaum feststellbar (da von der Feldabhängigkeit überdeckt). Die 207-fache Elektronenmasse der Müonen führt zu trägerem Verhalten verglichen mit den viel leichteren Elektronen und damit auch zu entsprechend größeren Zerfalls- bzw. Absorptionszeiten.

Bei der relativistischen Deutung ist noch zu bemerken, daß die tatsächliche Müonengeschwindigkeit zwischen Stratosphäre und Erdboden praktisch nie gemessen wurde und nur aus der angenommenen

Energie mittels der von der SRT behaupteten Massenzunahme $mc^2 = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$ berechnet wurde

(wobei $v \approx c_0$ als Berechnungsgrundlage bereits implizit vorausgesetzt wurde) – ein Zirkelschluß!

Anhang III:

Gedankenexperiment zum relativistischen Dopplereffekt

Ein Raumschiff mit einer Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit c_0 rast aus dem interstellaren Raum kommend auf die Erde zu. An der Spitze des Raumfahrzeugs befindet sich ein nahezu idealer Tripelspiegel. Eine in der Mitte des Spiegels befindliche Lichtquelle schießt ein einzelnes Photon in Richtung Erde ab, welches dort auf einen gleichartigen Tripelspiegel trifft, welcher dieses zum Raumschiffspiegel zurückstrahlt, der dieses wieder zur Erde reflektiert usw. Bei jeder Reflektion wird nach dem relativistischen Dopplereffekt das Photon erheblich energiereicher.

$E_{\text{photon}} = h \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \dots$ Nachdem das Photon elf mal hin- und zurückreflektiert wurde

hat es also die Energie $E_{\text{photon}} = E_0 \cdot \left(\frac{c+v}{c-v}\right)^{\frac{22-1}{2}}$ (8.III.1); Für $v = 0,998 c_0$ ist $\frac{c+v}{c-v} = 999$, so daß

die zuletzt zum Raumschiff zurückreflektierte Energie von $E_0 \cdot 3,13 \cdot 10^{31} \approx 1,25 \cdot 10^{13} \text{ J}$

(das entspricht **3474** MWh, bei $\lambda_0 = 497\text{nm}$ ist $E_0 \approx 4 \cdot 10^{-19} \text{J}$) vermutlich ausreicht, um das Raumschiff zu zerstören.

Machen wir eine Energiebilanz: Das Raumschiff spendiert ein einzelnes Photon der Energie E_0 und die Spiegel reflektieren nur zurück, was sie an Energie erhalten. Also scheint überwiegend die relativistische Dopplerformel die extrem ergiebige Energiequelle zu sein. Für $v = c_0$ würde schon eine einzige Reflektion ausreichen, um unendlich viel Energie praktisch aus dem Nichts zu erzeugen. Damit hat Einstein wieder einmal in *genialer Weise* die Energieprobleme der Menschheit gelöst!

Anhang IV:

Das Drillingsparadoxon:

Die Drillinge Max, Moritz und Albert sind begeisterte Anhänger der Relativitätstheorie und nehmen sich vor, diese zu überprüfen. Die Astronauten Max und Moritz beschließen mit ihrem Bruder Albert, dem theoretischen Physiker, folgendes Experiment durchzuführen:

An ihrem zwanzigsten Geburtstag starten Max und Moritz mit zwei baugleichen Raketen in entgegengesetzte Richtungen und erreichen jeweils **95 %** der Lichtgeschwindigkeit, relativ zu ihrem auf der Erde zurückgebliebenen Bruder Albert, der das ganze Experiment leitet und alle Berechnungen durchführt. Max und Moritz haben die Anweisung gemäß ihrer Bordzeituhr jeweils nach 15 Jahren um 180° zu wenden und zur Erde zurück zu fliegen, so daß sie jeweils nach 30 Jahren Flugzeit wieder auf der Erde landen. Mit Hilfe der SRT berechnet Albert, daß

er wegen der Zeitdilatation der Borduhren nach $\frac{30}{\sqrt{1-0,95^2}} = 96$ Jahren, also erst an seinem

116. Geburtstag mit der Rückkunft seiner Brüder zu rechnen hat. Auch Max und Moritz nutzen ihre Reisezeit, um die Geschwindigkeit des jeweils anderen zu berechnen und erhalten

beide $v' = \frac{0,95c + 0,95c}{1 + 0,95^2} = 0,9986859c$ als Relativgeschwindigkeit zueinander. Daraus

berechnen beide jeweils, daß der andere nur $30 \text{ Jahre} \cdot \sqrt{1 - (v'/c)^2} \approx 1,5375$ Jahre für seine Rückkehr zur Erde benötigt.

Wenn Albert zum Beispiel seinem Bruder Moritz glaubt und den gegenüber Max und Moritz gültigen Zeitdilatationsfaktor von 3,2 berücksichtigt, müßte Max also nach 4,92 Jahren wieder zurück sein. Das gleiche gilt natürlich für Moritz, wenn er Max glaubt. Als guter Demokrat läßt sich Albert von seinen beiden Brüdern überstimmen und freut sich auf ein unerwartetes Wiedersehen mit seinen Brüdern schon in zirka fünf Jahren und vergißt die ursprünglich berechneten 96 als Unfug mit der Zeitdilatation.

Nach einigem Nachdenken grübelt Albert aber verunsichert: Findet das Wiedersehen am 25., am 116. oder vielleicht doch am 50. Geburtstag statt?

Anhang V:

Lichtgeschwindigkeit im Raumschiff:

Welchen Wert hat die Lichtgeschwindigkeit in einem schnellen Raumschiff vom ruhenden Beobachter (auf der Erde) aus betrachtet?

Angenommen, in einem Raumschiff mißt ein Beobachter (in Flugrichtung) die Zeit, die das Licht bis zum Erreichen eines 1,4989 m entfernten Spiegels und zurück benötigt, so mißt er genau 10 nsec, so daß $\frac{\Delta l'}{\Delta t'} = \frac{2 \cdot 1,4989 \text{ m}}{10 \text{ nsec}} = c$ ist, genauso wie das äquivalente Experiment auf der Erde für den

Beobachter dort ebenfalls $\frac{\Delta l}{\Delta t} = c$ ergibt.

Wenn das Raumschiff gegenüber dem Beobachter auf der Erde sich mit zum Beispiel $v = 99\%$ der Lichtgeschwindigkeit bewegt, so ist $\beta = 0,99$.

Die Relativitätstheorie behauptet, daß sich ein bewegter Maßstab (in Flugrichtung) verkürzt, also

$$\Delta l' = \Delta l \cdot \sqrt{1 - \beta^2} \quad (8.V.1) \quad \text{ist und sich die Zeit entsprechend} \quad \Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (8.V.2) \quad \text{im}$$

bewegten System verlangsamt.

Berechnen wir nun von der Erde aus die Lichtgeschwindigkeit im Raumschiff, so erhalten wir

$$c' = \frac{\Delta l'}{\Delta t'} = \frac{\Delta l}{\Delta t} \cdot (1 - \beta^2) = c \cdot (1 - \beta^2) \quad (8.V.3), \text{ was für } \beta = 0,99 \text{ zu einem Wert von zirka } 2\% \text{ der}$$

Vakuumlichtgeschwindigkeit führt und damit dem Zweiten Einsteinschen Postulat widerspricht, welches ja behauptet, daß die Lichtgeschwindigkeit betrachterunabhängig und unabhängig vom Bewegungszustand eines Systems immer konstant sei.

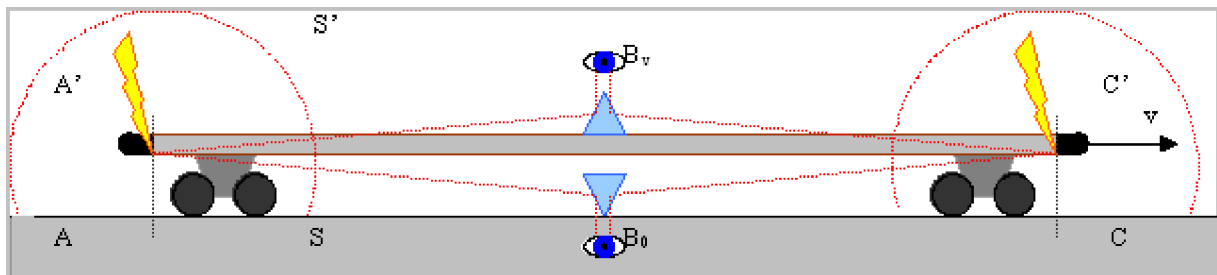
Anhang VI:

Einsteins Eisenbahn-Experiment zur Relativität der Gleichzeitigkeit und was dahinter steckt:

Um nicht näher auf einen Sachverhalt eingehen, einen (nicht SRT konformen) Gedankengang nachvollziehen zu müssen oder als letzter Ausweg, wenn sie keine anderen Antworten wissen, scheinen (der Erfahrung des Autors nach) Relativisten gerne auf die „*Relativität der Gleichzeitigkeit*“ (kurz RdG) zu verweisen. Der relativistische „*Glaubenssatz*“ von der RdG behauptet, daß Ereignisse, die in einem Inertialsystem gleichzeitig stattfinden in einem anderen relativ dazu bewegten

Inertialsystem nicht gleichzeitig sein können. Als Begründung wird meistens folgendes Einsteinsche Eisenbahn-Gedankenexperiment genannt.

Bei diesem Einstein Gedankenexperiment fährt ein Zug mit konstant hoher Geschwindigkeit v an einem Bahnsteig vorbei. Der fahrende Zug befinde sich im Bezugssystem S' in Ruhe und der Bahnsteig mit dem Beobachter B_0 ruhe im Bezugssystem S . Im Zug befinde sich, genau in dessen Mitte der Beobachter B_v , der über ein Spiegelprisma beide Zugenden A' und C' gemeinsam sehen kann. Angenommen, in dem Augenblick, indem sich die Beobachter B_v und B_0 genau gegenüber befinden, schlagen zwei Blitze gleichzeitig in die Zugenden A' und C' ein, so breiten sich Lichtkugelwellen von den Zugenden in Richtung der Beobachter aus. (Siehe Skizze)



Bei Gültigkeit des zweiten Einsteinschen Postulats kommen die Lichtwellen von den beiden Zugenden unabhängig von der Lichtquellengeschwindigkeit v gleichzeitig (bei isotroper Lichtausbreitung im System S) beim Beobachter B_0 an, da sich dieser wie der Beobachter B_v zum Zeitpunkt der Lichtaussendung genau in der Mitte des Zuges befunden hat ($\overline{A'C'} = \overline{AC}$). Nach Einsteins Argumentation erreicht jedoch das von C' ausgehende Licht den Beobachter B_v früher, als das von A' ausgehende, da der Beobachter B_v während der Lichtlaufzeit dem Licht von C' entgegen- und dem Licht von A' davon fährt, so daß dieser die für den Beobachter B_0 gleichzeitigen Blitzschläge zuerst von C' und dann von A' und somit als nicht gleichzeitig registriert.

An dieser Stelle soll nun genauer untersucht werden, was bei diesem Experiment tatsächlich geschieht.

Um klare Schlußfolgerungen zu ermöglichen, ist es zweckmäßig, das Experiment um genau definierte Experimentbedingungen zu ergänzen:

1. Das Experiment findet im Vakuum statt.
2. Das Ruhesystem S mit dem Beobachter B_0 und das dazu parallel mit konstanter Relativgeschwindigkeit v bewegte System S' mit dem Beobachter B_v sind absolut gleichberechtigte Inertialsysteme (1. Einsteinsches Postulat)
3. Die Beobachter befinden sich jeweils genau in der Mitte ihrer Lichtmeßstrecken, an deren Enden sich je ein Spiegel* befindet, wodurch die Lichtblitze zu den Beobachtern reflektiert werden. (*In der Skizze nicht dargestellte Erweiterung.)

4. Gerade in dem Augenblick, wenn sich die Beobachter während der Relativbewegung auf exakt gleicher Höhe, einander gegenüber befinden, gilt dies auch für die Spiegel A-A' und C-C'.
5. In dem oben definierten Augenblick schlagen genau zwischen den Spiegeln A-A' und zwischen C-C' gleichzeitig (!) zwei Blitze ein.

Einstein hat bei diesem Gedankenexperiment die absolute Gleichzeitigkeit von drei räumlich getrennten Ereignissen (A-A', B₀-B_v und C-C') in relativ zueinander bewegten Systemen S und S' bereits als Experiment-Anfangsbedingung vorausgesetzt! (Bereits ein Widerspruch zur RdG?) Allein wegen dieser Gleichzeitigkeit, der absoluten Gleichberechtigung der Inertialsysteme S, S' und dem Zweiten Einsteinschen Postulat haben die zu den Beobachtern reflektierten Lichtsignale in beiden Systemen jeweils gleichlange Wege mit der in beiden Systemen konstanten Lichtgeschwindigkeit zurückzulegen. Die Beobachter B₀ und B_v registrieren deshalb die von ihren Meßstreckenendspiegeln erhaltenen Lichtsignale also beide gleichzeitig, obwohl sie sich in Folge der Relativgeschwindigkeit beim Eintreffen der Lichtsignale (nach deren Lichtlaufzeit) an verschiedenen Orten befinden! Als Vorstellungshilfe können Sie ja annehmen, daß in beiden Systemen die Strecken symmetrisch zu den Beobachtern immer weiter verkürzt werden, bis beide Lichtblitze zu einem und die Lichtlaufzeiten von den Spiegeln zu den Beobachtern praktisch Null werden. In diesem Fall blitzt es zwischen den Beobachtern B₀ und B_v gleichzeitig in beiden Systemen S und S', womit die RdG ad absurdum geführt wird, denn nach der RdG dürfte das Signal der beiden gleichzeitigen Blitze (jetzt faktisch ja nur noch einer vom gleichen Ort) ja nicht gleichzeitig bei B₀ eintreffen, sondern nacheinander (Welches zuerst?). Außerdem ist es unlogisch (auch den beiden Einsteinschen Postulaten widersprechend) anzunehmen, daß im gleichen System, in dem die Blitze an zwei entfernten Orten gleichzeitig einschlagen, diese Ereignisse an einem dazu symmetrisch befindlichen Ort (Beobachter) dieses Systems als nicht gleichzeitig feststellbar sein sollen. Auch bei der Ortvermessung im bewegten System wird davon ausgegangen, daß die Lichtgeschwindigkeit in diesem System in allen Richtungen konstant sei und nicht davon, daß sich das Licht nur im Ruhesystem ausbreitet, wie dies offenbar beim beschriebenen Eisenbahnexperiment von Einstein in naiver Weise (in eklatanter Mißachtung seiner eigenen Postulate) angenommen und von den nachfolgenden Physikergenerationen unreflektiert übernommen, beziehungsweise einfach geglaubt wurde.

Auch vom ruhenden Beobachter B₀ aus betrachtet, ist dies leicht zu verstehen, wenn man die klassische Geschwindigkeitsaddition als gültig betrachtet. Das von Spiegel A' zum Beobachter B_v reflektierte Licht hat die Geschwindigkeit c+v, aber relativ zum mit v bewegten Beobachter B_v nur die Geschwindigkeit $(c+v) - v = c$. Das von C' zu B_v reflektierte Licht hat die Geschwindigkeit c-v, aber relativ zu B_v die Geschwindigkeit $(c-v) + v = c$, so daß die Lichtsignale zum, in der Mitte von A'-C' befindlichen Beobachter B_v gleiche Laufzeiten haben und somit gleichzeitig bei B_v ankommen.

Wenn aber B_0 die Lichtsignale von A' und C' empfängt, so stellt er unterschiedliche Lichtlaufzeiten fest.

Das Licht von A' erreicht B_0 mit $c+v$ und das Licht von C' erreicht B_0 mit $c-v$, so daß er eine

Empfangszeitdifferenz von $\Delta t = \frac{\overline{A'C'} \cdot v}{c^2 - v^2} = \frac{\overline{AC} \cdot v}{c^2 - v^2}$ (8.VI.1) messen wird. Umgekehrt verhält es

sich vom Beobachter B_v aus betrachtet. B_v empfängt das Licht von Spiegel A mit einer Geschwindigkeit von $c-v$ und das vom Spiegel C mit $c+v$ und mißt deshalb wie B_0 die gleiche Laufzeitdifferenz. Bei der Einsteinschen RdG handelt es sich also um nicht mehr, als einen (für die Physik des zwanzigsten Jahrhunderts folgenschweren) Trugschluß.

Einsteinscher Trugschluß in Kürze: Um die „Relativität der Gleichzeitigkeit“ herzuleiten benötigt Einstein als Voraussetzung die universell gültige absolute Gleichzeitigkeit an drei räumlich getrennten aber im Augenblick der Gleichzeitigkeit jeweils gemeinsamen Orten in zwei relativ mit der Geschwindigkeit v bewegten Inertialsystemen. Mit der RdG leugnet Einstein deren Voraussetzung und implizit damit auch die RdG selbst.

Anhang VII:

Herleitung des klassischen Sagnac-Effektes:

In der Navigationstechnik wird der Sagnac-Effekt zur genauen Messung von Drehbewegungen beim Richtungswechsel genutzt, im Fasergyroskop oder beim Ringlaser.

Beim Fasergyroskop bzw. Faserkreisel wird Laserlicht über einen Strahlteiler gleichzeitig in beide Enden einer zu einer Spule aufgewickelten Glasfaserleitung eingespeist, wieder ausgekoppelt und anschließend zur Interferenz gebracht. Wird nun die gesamte Anordnung gedreht, so entsteht eine der Drehgeschwindigkeit proportionale Verschiebung der Interferenzstreifen, die bei Unterbrechung der Drehung in die Ausgangslage zurückkehrt und bei Drehrichtungsumkehr in die entgegengesetzte Richtung erfolgt, so lange die Drehbewegung andauert.

Erklärung der Interferenzverschiebung:

Die in Drehrichtung ausgesandten Photonen breiten sich im Vakuum zwischen den Molekülen der Glasfaser geradlinig aus. Wenn die Photonen in Drehrichtung tangential die Geschwindigkeit (im Vakuum) c_0+v besitzen (v = Umfangsgeschwindigkeit der Glasfaser), so erreichen sie den Glasfaserrand, an dem sie wieder ins Zentrum der Glasfaser zurückgespiegelt werden früher als nur mit der Geschwindigkeit c_0 (ohne Drehbewegung). Die Anzahl der Wellenlängen λ_0 (im Vakuum) ist

durch die kürzere Flugzeit um den Faktor $\frac{c_0}{c_0 + v}$ geringer, als nur mit c_0 (ohne Drehbewegung). Die

gegen die Drehrichtung ausgesandten Photonen mit λ_0 und der Geschwindigkeit c_0-v sind bis zur

Reflektion länger unterwegs, so daß auf der Vakuumstrecke l bis zur Reflektion die Anzahl der Wellenlängen um den Faktor $\frac{c_0}{c_0 - v}$ größer ist, als bei der Geschwindigkeit c_0 .

Die Anzahl der Wellenlängen auf einer ruhenden Vakuumstrecke in der Glasfaser ist:

$Z_0 = \frac{l}{\lambda_0} = \frac{l \cdot f_0}{c_0}$. Bei einer Drehbewegung ergeben sich also mit und gegen diese Drehbewegung

$Z_1 = \frac{l \cdot f_0}{c_0 + v}$ und $Z_2 = \frac{l \cdot f_0}{c_0 - v}$; Die Interferenzverschiebung beträgt dann $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ (Gangunter-

schied in Einheiten der Wellenlänge λ_0);

$$\Delta Z = l \cdot f_0 \left(\frac{1}{c_0 - v} - \frac{1}{c_0 + v} \right); \text{ für } f_0 = \frac{c_0}{\lambda_0} \text{ wird dann } \Delta Z = \frac{l \cdot c_0}{\lambda_0} \cdot \frac{2 \cdot v}{c_0^2 - v^2} = \frac{l}{\lambda_0 \cdot c_0} \cdot \frac{2 \cdot v}{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}$$

Bei einem Spulradius r ist die Länge der Glasfaser $l = N \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$ ($N =$ Windungszahl) und die Umfangsgeschwindigkeit ist $v = r \cdot \omega$. Die Spulenfläche ist $F = \pi \cdot r^2$.

$$\text{Damit wird der Gangunterschied } \Delta Z = \frac{N \cdot 2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda_0 \cdot c_0} \cdot \frac{2 \cdot r \cdot \omega}{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} \rightarrow \Delta Z = N \cdot \frac{4 \cdot F}{\lambda_0 \cdot c_0} \cdot \omega \cdot \gamma^2 \quad (8.VII.1)$$

Für kleine Umfangsgeschwindigkeiten $v \ll c_0$ ist $\gamma = 1$, so daß $\Delta Z = N \cdot \frac{4 \cdot F}{\lambda_0 \cdot c_0} \cdot \omega$ mit der

experimentell gefundenen Formel direkt übereinstimmt.

Beim Ringlaser wird im Ruhezustand eine Frequenz f_0 erzeugt und bei einer Drehbewegung werden in Drehrichtung eine höhere und entgegen der Drehrichtung eine niedrigere Laserfrequenz entstehen,

wegen der Geschwindigkeitsaddition also $f_1 = f_0 \cdot \frac{c_0 + v}{c_0}$ und $f_2 = f_0 \cdot \frac{c_0 - v}{c_0}$. Es wird die

Differenzfrequenz $\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{2 \cdot v}{c_0} f_0$ gemessen.

Für $f_0 = \frac{c_0}{\lambda_0}$, $v = r \cdot \omega$ und $d = 2 \cdot r$ wird dann $\Delta f = \frac{d}{\lambda_0} \cdot \omega$ (8.VII.2) gleichfalls übereinstimmend

mit der empirisch gefundenen Formel $\Delta f = \frac{4 \cdot F}{l \cdot \lambda_0} \cdot \omega$, denn es ist $\frac{4 \cdot F}{l} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2}{2 \cdot \pi \cdot r} = 2 \cdot r = d$.

Die Herleitungen für Fasergyroskop und Ringlaser basieren auf der klassischen Geschwindigkeitsaddition der Lichtgeschwindigkeit mit der Lichtquellengeschwindigkeit entsprechend der Gallileitransformation. **Das Auftreten des Sagnac-Effektes widerlegt somit das Zweite Einsteinsche Postulat und die relativistische Geschwindigkeitsaddition.**